ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

VOLUMEN XIV Octubre 1955 NUMERO 56

SUMARIO

Editorial: La ciencia y la imaginación 171

541.144.7:581.132
Fotosíntesis — C. P. WHITTINGHAM — 173

582.734
La historia de las rosas de cultivo — ANN WYLIE — 181

581.452
Algunos problemas de filotaxia y determinación de la hoja — R. SNOW — 190

669.783:621.375.4
El germanio y sus aplicaciones — J. N. ALDINGTON y H. W. CUMMING — 200

581.14.04
Las sustancias de crecimiento y el desarrollo de las plantas — L. J. AUDUS — 205

529.78:681.11(091)
Historia del cronómetro marino — SIR HAROLD SPENCER JONES — 212

049.3
Revista de libros 219

Libros recibidos 226

Notas sobre los colaboradores 228

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

La ciencia y la imaginación

A quienes no saben bien lo que es, la ciencia les parece una pesquisa estrictamente objetiva, alejada de la imaginación y que en nada refleja la personalidad individual del investigador. En ella, todo progreso es siempre resultado de la aplicación rigurosa de un procedimiento en el que cada paso es consecuencia lógica y razonada del que lo precede. Una rápida ojeada de las revistas que reseñan los resultados de las nuevas investigaciones parece confirmar tal opinión. Sus páginas revelan una pauta evidente: los hechos descubiertos mediante el experimento o la observación se ordenan luego de acuerdo a un esquema unificador y expositivo. Sin embargo, ¡cuán diferente es la realidad en la mayoría de los casos! ¡Cuán a menudo la inesperada adivinación — producto de cierto instinto científico, en parte inherente y en parte nacido de la experiencia — revela una verdad mucho antes de lo que hubiera podido ser descubierta por los métodos acostumbrados! Claude Bernard creía firmemente que las ideas tenían muchísima más importancia que los hechos: «*on donne généralement le nom de 'découverte' à la connaissance d'un fait nouveau; mais je pense que c'est l'idée qui se rattache au fait découvert qui constitue en réalité la découverte.*» Cierto es que no siempre son acertadas tales «ideas» (y en ese caso nada se sabe ya más de ellas), pero, cuando lo son, sirven para ahorrar tiempo y esfuerzos considerables, ya que entonces sólo es necesario comprobar una posibilidad, no muchas.

Así, la imaginación, lejos de ser una facultad innecesaria en la ciencia, es altamente valiosa: una imaginación fértil es característica que señala a un gran científico. La historia de la ciencia nos ofrece numerosos ejemplos que apoyan tal tesis. Recordemos, por ejemplo, la imaginativa concepción de Kekulé de la tetravalencia y de la forma de unión de los átomos de carbono, y su visión repentina de la molécula de benceno como una serpiente que se muerde la cola. La explicación del fenómeno de la aberración surgió en la mente de James Bradley mientras éste navegaba por el Támesis. Hoy, que la marcha de la ciencia ha experimentado tan notable aceleración, apenas dedicamos tiempo al ejercicio de la fantasía. Y, sin embargo, el consejo de Kekulé encierra una gran verdad: «*Lernen wir träumen, dann finden wir vielleicht die Wahrheit.*» También los problemas matemáticos se resuelven a veces más bien gracias a la intuición que a la lógica aplicación de las normas establecidas. Poincaré nos ha descrito cómo se le ocurrió un importante descubrimiento relacionado con la teoría de los grupos y funciones fuchsianos, que le había preocupado durante largo tiempo, mientras se subía a un omnibus en Coutances. William Whiston escribió que, en matemáticas, Newton «podía a veces vislumbrar (verdades) casi intuitivamente, aun sin demostración. . . . Y cuando proponía conjeturas en Filosofía Natural, casi siempre sabía al mismo tiempo que eran ciertas. . . .» Sir Charles Parsons confesaba que sus trabajos matemáticos eran resultado de recónditos procesos mentales que ni él mismo comprendía bien. Una vez alcanzado un resultado es, a menudo, fácil ver cómo hubiera podido alcanzarse progresando firmemente y paso a paso. En otras ocasiones, sin embargo, transcurren años antes de que se puedan percibir claramente los estadios intermedios, lo que no impide hacer, mientras tanto, uso del descubrimiento.

En la ciencia ocurre numerosas veces que los medios para el progreso existen ya mucho antes de ser utilizados: los hechos necesarios para la formulación de una importante generalización pueden ser de todos conocidos antes de que resulte evidente su significado colectivo. De nuevo en este terreno es la mente imaginativa — y no la mente lógica — la que percibe ese significado antes insospechado: el orden suyacente de una realidad bien conocida. Por ejemplo, el hecho de que la fricción genera calor era ya sabido desde tiempo inmemorial: era el método primitivo de encender el fuego; pero fué Rumford quien por primera vez comprendió y formuló claramente el significado de la relación entre trabajo y calor. También eran conocidas las anomalías de los eclipses de las lunas de Júpiter mucho antes de que Rømer presentase la explicación adecuada: que la luz tiene una velocidad finita. Giovanni Cassini — a quien no se puede tener por pensador de segundo orden — había considerado ya tal explicación, rechazándola después y oponiéndose a la teoría de Rømer cuando éste la propuso. Esta ceguera ante la fuerza de nuevas doctrinas no es un fenómeno raro en la historia de la ciencia. Priestley fué toda su vida un convencido flogistonista, aunque sus propios experimentos con la cal roja de mercurio sirvieron a Lavoisier de marcado indicio para comprender el carácter de la combustión. Tal falta de visión es tanto más extraña cuanto que

Priestley solía criticar a aquéllos que se resistían a las nuevas ideas: «podemos conceder tanta autoridad a una máxima que las pruebas en contrario más evidentes no servirán para cambiar por completo nuestra opinión, ni, en ciertos casos, modificarla», escribía. Lo que aquí condena Priestley es, en efecto, la falta de imaginación.

En la preparación de los experimentos, la imaginación puede representar un papel tan vital como la interpretación de los resultados. «*Toute l'initiative expérimentale est dans l'idée, car c'est elle qui provoque l'expérience*», escribió Claude Bernard. Buen experimentador es aquél que, libre de toda idea preconcebida, vislumbra rápida y diáfanamente lo que se quiere demostrar y el modo más fácil de demostrarlo. Otros podrán conseguir finalmente idéntico resultado, pero será con menor elegancia y mayores trabajos.

Si bien el progreso general de la ciencia depende del desarrollo de las ideas originales de un número relativamente reducido de sabios, las labores de desarrollo exigen además considerable imaginación. La aplicación de nuevas concepciones, ya vayan encaminadas hacia la pura investigación ya hacia fines prácticos, plantea invariablemente gran cantidad de problemas. En todos los niveles de la ciencia, tanto pura como aplicada, la imaginación cumple una función importante.

Más, si la fertilidad imaginativa es no sólo útil sino esencial, no debe, sin embargo, llegar a ser característica dominante. La ciencia es objetiva, no subjetiva. Y, sobre todo, la especulación, aunque pueda servir de prólogo o epílogo a la experimentación, no debe nunca formar parte de ésta, cuya objetividad es esencial. Cuando un resultado no se acople a una doctrina preconcebida no debe aquél descartarse, a no ser que haya una causa patente de dicha desviación; como en el caso de los satélites de Júpiter, es el hecho discrepante lo verdaderamente significativo. Tampoco merece la imaginación desbocada hallar un lugar en la ciencia: por eso, toda teoría nueva que no se apoye en hechos comprobados debe ser acogida con reservas.

Quizás sea esta actitud mental de incesante interrogación, acompañada de la necesidad de una estricta objetividad experimental, lo que ha conducido a la noción — hoy generalizada — de que el científico es un ser falto de imaginación e interesado únicamente en cuestiones materiales. En el mundo actual, en el que de manera creciente dependemos más de los resultados de las investigaciones científicas, tales nociones son peligrosas, como lo son todas las que conciben al científico como un «hombre aparte». De tal incomprensión nacen luego las sospechas de que el investigador científico, lejos de ser útil a la comunidad, es, en potencia, instrumento de destrucción. Y de ahí el prejuicio contra su participación en las más amplias esferas de otras actividades humanas. Es evidente que, en tanto que científicos, sólo deben participar en tales actividades cuando sean útiles sus conocimientos técnicos; pues no puede argüirse que el conocimiento técnico *per se* califica a quien lo posee para intervenir en aquellos dominios en los que son factores máximos las emociones y los afectos humanos, siempre imponderables. Con todo, la imaginación es una de las facultades más necesarias para resolver los dolorosos problemas del mundo actual, y, si reconocemos que es una cualidad que los científicos pueden poseer en alto grado, facilitaremos el empleo de sus facultades en esferas más amplias. Pero para tal decisión se necesita el apoyo de ambos campos. Por un lado, el científico debe comprender que, cuando no se trata de cuestiones puramente técnicas, su opinión sólo tiene el valor que le presten sus restantes cualidades humanas; por el otro, el político debe reconocer que el discernimiento del científico no se limita necesariamente al plano de la ciencia.

Desgraciadamente, en este momento parece que tal distancia sólo puede ser salvada gracias a un esfuerzo de aproximación por parte del científico. Numerosos hombres de ciencia ha probado su capacidad en las esferas políticas y administrativas del más elevado nivel; pero el fenómeno opuesto es virtualmente desconocido. Lo cual tiene una explicación clara y evidente: toda formación especializada — científica o no — sólo puede adquirirse, por razones sociales y económicas, durante la primera juventud. El jóven científico que acaba de terminar sus estudios tiene ante sí una gran variedad de carreras, siempre que tanto él como las personas e instituciones que puedan más tarde emplearlo no se limiten a considerar su preparación científica como un mero instrumento para ganarse la vida, sino como un puente entre la ciencia y los numerosos aspectos vitales sobre los que aquélla ejerce hoy su influencia. La existencia de un número suficiente de funcionarios administrativos que posean una preparación científica hará posible el intercambio en ambas direcciones; los administradores con una formación científica podrán entonces pasar de nuevo del mundo de los problemas prácticos de la vida cotidiana al mundo de la ciencia, con gran beneficio para ambos.

Fotosíntesis

C. P. WHITTINGHAM

El estudio de las sucesivas fases de reacción, absorción de luz por los pigmentos, conversión en energía química utilizada en la reducción del anhídrido carbónico con acumulación de compuestos de carbono, parece indicar que la fotosíntesis es un proceso general bioquímico, no limitado a las plantas verdes. La fijación fotosintética de la energía radiante puede llegar a ser un proceso de gran importancia práctica.

Los investigadores sobre la fotosíntesis muy pronto vieron que una planta verde expuesta a la luz invertía aparentemente el proceso ordinario de respiración, común a todo organismo vivo: la planta tomaba anhídrido carbónico y agua para producir compuestos orgánicos y oxígeno:

$$CO_2 + H_2O \underset{\text{respiración (oscuridad)}}{\overset{\text{fotosíntesis (luz)}}{\rightleftharpoons}} \begin{matrix}\text{Compuestos}\\ \text{orgánicos}\\ \text{de carbono}\end{matrix} + \tfrac{1}{2}O_2$$

En las hojas de algunas dicotiledóneas, el compuesto orgánico se encuentra en forma de almidón; en otras hojas se acumula azúcar; en algunas algas se forman grasas. En las hojas verdes del trigo la formación de proteínas se acelera por iluminación en presencia de anhídrido carbónico. La producción de estas diversas materias alimenticias puede ser comprendida si suponemos que el producto inicial de la fotosíntesis es un azúcar que ocupa una posición central en el campo metabólico, por ejemplo una triosa. De tal triosa pueden formarse grasas, amino-ácidos y proteínas, azúcares e hidratos de carbono mediante mecanismos enzimáticos conocidos, comunes a todos los organismos vivientes.

El proceso total de fotosíntesis puede ahora dividirse en diversos pasos de reacción. Primero, la absorción de la energía radiante por el sistema pigmentario; segundo, la estabilización de esta energía en alguna forma química; y, finalmente, la transferencia de esta energía para la reducción del anhídrido carbónico.

EL SISTEMA PIGMENTARIO

El sistema pigmentario relacionado con la fotosíntesis en la hoja verde está localizado en cuerpos elipsoidales dentro de la célula: los cloroplastos. En éstos, los pigmentos están concentrados en el grana en regiones discoidales amontonadas como pilas de monedas, pero separadas unas de otras por regiones relativamente libres de pigmento. En las algas hay una mayor diversidad de formas de cloroplastos, pero la estructura básica es probablemente análoga. Se supone que en las capas diferenciadas de los cloroplastos, los pigmentos individuales están colocados de manera organizada. Estos pigmentos son de dos tipos: clorofilas *a* (azul-verdosa) y *b* (amarillo-verdosa), y los carotenoides, xantofilas amarillas y carotenos naranja. Cuando hay otros pigmentos, tales como las antocianinas roja y púrpura, están disueltos en la savia de la célula y no toman parte directa en la fotosíntesis. Las algas muestran una gran diversidad de pigmentos carotenoides, y las rojas y azul-verdosas contienen además representantes de otra clase de compuestos, las ficobilinas. Estas son solubles en agua; las clorofilas contienen grupos hidrofílicos e hidrofóbicos y son solubles en disolventes orgánicos; los carotenoides son solubles en las grasas. Esta diversidad de propiedades indica, en resumen, un sistema de dos fases en los centros pigmentarios de los cloroplastos.

En el grana, los pigmentos están altamente concentrados, probablemente hasta 0,1 molar. Sin embargo, como el espectro de absorción de la clorofila en la planta está relacionado simplemente con el de la clorofila en solución, la excitación puede ser considerada todavía como un acto de absorción por una molécula individual. Existen indicaciones de que en una estructura organizada de alta concentración pigmentaria, tal como el grana, toda molécula individual excitada puede transferir su energía a una molécula adyacente de la misma o diferente clase. La fluorescencia proporcionada por la clorofila en la planta es, aproximadamente, la décima o centésima parte de la que produce la clorofila en solución, indicando que la vida de la molécula excitada es tal que aproximadamente unas cien transferencias es el máximo posible durante el período de excitación. Dos clases de pruebas hay que parecen indicar que tiene lugar tal cesión de energía entre moléculas.

Si tenemos en cuenta el margen de variación de la longitud de onda para la absorción máxima y algún ensanchamiento de las bandas de absorción *in vivo*, los espectros de absorción y fluorescencia de una célula verde pueden ser relacionados al espectro de los pigmentos aislados de dicha célula con un cierto grado de certidumbre. Sin embargo, cuando la célula absorbe luz de una sola longitud de onda (que *in vitro* resultaría solamente en fluorescencia característica de un solo pigmento), se ha encontrado que la luz emitida contiene la fluorescencia característica de un segundo pigmento presente. Por ejemplo, en una suspensión de diatomeas iluminada con luz de una longitud de onda que es absorbida predominantemente por el carotenoide fucoxantol, la fluorescencia es semejante en calidad e intensidad a la emitida cuando la luz excitante es absorbida solamente por la clorofila. En la célula debe haber tenido lugar transferencia de energía del fucoxantol, que absorbió la luz, a la clorofila. En forma semejante, se ha demostrado la transferencia de energía de la clorofila *b* a la clorofila *a* en las algas verdes y de las ficobilinas a la clorofila en las algas rojas y azul-verdosas.

Con anterioridad a los estudios de la sensibilización de la fluorescencia de un pigmento a causa de la absorción por un segundo pigmento, se había observado que la eficiencia fotosintética de la luz absorbida por carotenoides en el alga verde *Chlorella* era aproximadamente la mitad de la absorbida por la clorofila; la luz absorbida por el fucoxantol en las diatomeas era aproximadamente tan eficiente como la absorbida por la clorofila; y la luz absorbida por las ficobilinas en las algas azul-verdosas tan eficiente como la absorbida por la clorofila. Se encontró que en las algas rojas, la eficiencia de la luz absorbida por la ficoeritrina era más grande que la de la absorbida por la clorofila; se comprobó más tarde que esto último era cierto también para la sensibilización de la fluorescencia de la clorofila. Se ha atribuído esto a la existencia de una forma de clorofila en las algas rojas, la clorofila *d*, la cual es inactiva con respecto a la fluorescencia y a la fotosíntesis, pero a la cual puede transferirse energía; se sugiere que la ficocianina y la ficoeritrina transfieren energía de excitación preferentemente a la clorofila *a*. Las medidas indican que la transferencia de energía debe tener lugar con alta eficiencia en la planta.

Parece ser que el mecanismo de la transferencia de energía es el de la resonancia inductiva. La molécula excitada está asociada con un campo eléctrico con frecuencias de vibración determinadas por las de la luz emitida; si una molécula vecina es capaz de absorber energía de esas frecuencias, puede resultar excitada ella misma. Así, la condición necesaria para la transferencia de energía es que el espectro de fluorescencia de la molécula excitada coincida en parte con el espectro de absorción de la receptora. Utilizando la ecuación de Förster, Duysens [1] ha mostrado que las

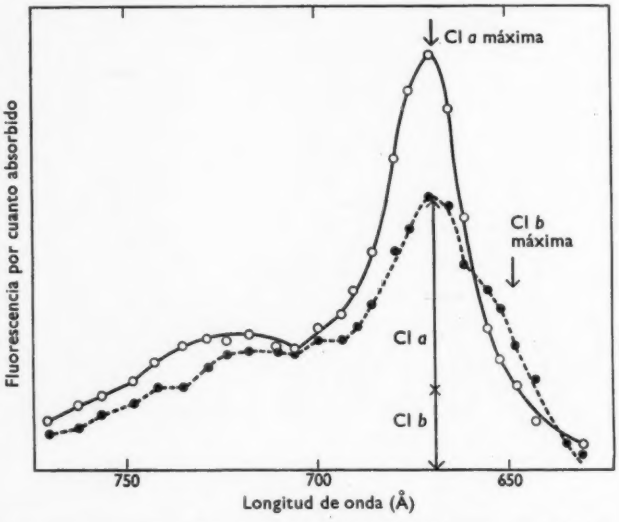


FIGURA 1 – *Transferencias de energía entre pigmentos en solución. Espectros de fluorescencia de las clorofilas en solución etérea, cuando son irradiadas con una longitud de onda de* 4290Å (70% *de la absorción debida a la clorofila* a) *y con* 4530Å (95% *de la absorción por la clorofila* b). *La línea vertical en* 6700Å *indica que en el segundo caso una gran proporción de la luz fluorescente es característica de la clorofila* a, *mientras que la clorofila* b *era el pigmento excitado; ha tenido lugar una transferencia parcial de energía de la* b *a la* a. *En la célula viva los pigmentos están más concentrados y la transferencia es prácticamente completa.* o = *luz excitante de* 4290Å. • = *luz excitante de* 4530Å [1].

concentraciones de clorofilas *a* y *b* encontradas en *Chlorella* hacen lógico esperar una transferencia casi completa de energía de excitación de *b* a *a*. Esto resultaría efectivamente en la ausencia de toda fluorescencia característica de la clorofila *b*, y en verdad así sucede (Fig. 1). De manera semejante se puede demostrar que la transferencia casi completa de energía de la ficoeritrina y la ficocianina a la clorofila, no se opone a la teoría de la transferencia por resonancia inducida.

El pigmento que tiene una absorción máxima en la onda de mayor longitud, la clorofila *a*, se

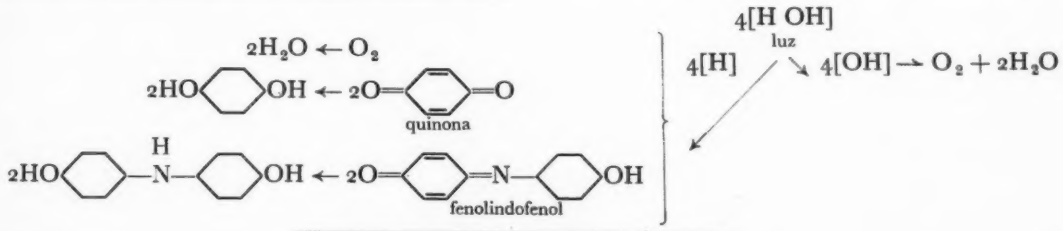
encuentra en todas las plantas, excepto en las bacterias; en éstas, la bacterioclorofila representa un papel semejante. Así todos los pigmentos de los cloroplastos pueden, en último lugar, proporcionar energía a la clorofila *a*. Simplemente, la presencia de una diversidad de pigmentos amplía la gama de longitudes de onda absorbidas, eficaces en la fotosíntesis; este es un aspecto de bastante significado ecológico en ciertos *habitats*.

EFICIENCIA CUANTICA ABSOLUTA

En contraste con la general aceptación de la eficiencia relativa de la luz de diferentes longitudes de onda, no hay todavía conformidad acerca del valor absoluto para el máximum de eficiencia de la fotosíntesis. Los valores para la eficiencia de conversión de energía libre varían desde 30% hasta el 90 y aún el 100%, es decir: un rendimiento cuántico en luz roja (6600Å) de 0,1 a 0,3 moléculas de oxígeno por cuanto. La mayor parte de los investigadores aceptan que los más altos valores no se conocen con seguridad; por otra parte, Warburg y sus colaboradores reafirman sus observaciones de una alta eficiencia en una amplia gama de condiciones [2]. Lo más probable es que muchos investigadores hayan utilizado períodos de luz relativamente breves con objeto de hacer la corrección del metabolismo en la oscuridad lo más precisa posible. Durante tales períodos, las reacciones secundarias pueden representar un papel comparable con el de la propia fotosíntesis, viciando el cálculo de la energía libre. También se ha observado recientemente que *Chlorella* muestra dos formas morfológicas que se diferencian por su contenido en clorofila y su eficiencia fotosintética [3]; existen también considerables variaciones en propiedades fisiológicas sin cambios en morfología general. Aun aceptando la estimación más baja, la eficiencia del proceso de fotosíntesis en la planta viva, se compara favorablemente con la de cualquier otro mecanismo fotoquímico para la conversión de energía luminosa.

EL PASO QUIMICO PRIMARIO

El enfoque bioquímico clásico del estudio del metabolismo es descomponer la estructura celular con el objetivo de aislar los pasos individuales de reacción; el sistema de reacciones puede entonces ser analizado en último extremo en sus componentes químicos puros. Utilizando organismos fotosintéticos, el único avance realizado en esta dirección es el estudio de las reacciones catalizadas por cloroplastos tomados de la célula. Al final del siglo XIX y principios del XX se creía que los cloroplastos aislados podían continuar la fotosíntesis aunque en muy reducida escala. En 1937, Hill mostró que los cloroplastos aislados no tenían una afinidad medible hacia el anhídrido carbónico en presencia de la luz; sin embargo, si se les suministraban sustancias de más fácil reducción, tales como las sales de hierro, en lugar del anhídrido carbónico, el ión férrico quedaba reducido y el oxígeno puesto en libertad. Se ha visto ahora que una variedad de sustancias pueden ser reducidas — por ejemplo: quinona, ferrocianuro y algunas materias colorantes — con la evolución del oxígeno equivalente. Este tipo de reacción se llama reacción de Hill o reacción cloroplástica. Bajo ciertas condiciones el oxígeno puede actuar como receptor de hidrógeno, formando peróxido de hidrógeno; este se descompone en agua y oxígeno, resultando una reacción limitada. Si la reacción cloroplástica tiene lugar en presencia de agua marcada con O^{18}, se encuentra que todo el oxígeno desprendido procede del agua y nada del material cloroplástico ni de la sustancia reducida. Los cloroplastos actúan solamente como fotocatalizadores; no necesitan estar completos, bastan sus fragmentos. Así podemos escribir una ecuación general que represente la reacción cloroplástica como una escisión del agua; no se les atribuye al agua y a los radicales la existencia en estado libre, sino más bien en forma de complejo (indicado en la ecuación entre corchetes), probablemente con proteína enzimática.



Ecuación general (A = receptor):

$$4H_2O + 2A \xrightarrow{luz} 2H_2O + O_2 + 2AH_2$$

Si se intenta la reducción directa de ciertas sustancias biológicas, tales como citocromo o coenzima I o II utilizando cloroplastos iluminados, se observa muy pequeño efecto, probablemente a causa de la rápida reoxidación de la forma reducida producida. Pero acoplando la reacción cloroplástica con otro sistema, en el cual se consuma rápidamente la forma reducida, y manteniendo una baja concentración de oxígeno, se obtiene la comprobación indirecta de la reducción. Utilizando los sistemas de reacción que figuran en las ecuaciones que siguen, Vishniac y Ochoa y otros [5] demostraron la reducción de las coenzimas I y II en la reacción cloroplástica.

$$H_2O + CoII \xrightarrow[\text{cloroplasto}]{\text{luz}} CoIIH_2 + \tfrac{1}{2}O_2$$

$$\text{Piruvato} + CO_2 + CoIIH_2 \xrightarrow[\text{málica}]{\text{enzima}} \text{malato} + CoII$$

$$\text{Piruvato} + CO_2 + H_2O \longrightarrow \text{malato} + \tfrac{1}{2}O_2$$

$$H_2O + CoI \xrightarrow[\text{cloroplasto}]{\text{luz}} CoIH_2 + \tfrac{1}{2}O_2$$

$$\text{Piruvato} + CO_2 + CoIH_2 \xrightarrow[\text{láctica}]{\text{deshidrogenasa}} \text{lactato} + CoI$$

$$\text{Piruvato} + CO_2 + H_2O \longrightarrow \text{lactato} + \tfrac{1}{2}O_2$$

Si se añaden preparaciones mitocondriales de tejidos vegetales o animales a cloroplastos iluminados, resulta una fosforilación oxidante. Se supone que esto representa un sistema coenzimático copulado en el cual la reducción de la coenzima por el sistema cloroplástico va seguida, por la vía de los mitocondrios, de una reoxidación de la coenzima reducida, que termina en fosforilación.

De esta manera, el sistema de la reacción cloroplástica, representa, al ser iluminado, un suministro potencial de hidrógeno en forma de coenzima reducida y, por tanto, también de ésteres fosforilados. Suponiendo que éstos sean producidos en la reacción fotoquímica o escisión acuosa, pasemos ahora a considerar como están relacionados con la fijación de anhídrido carbónico.

LA FIJACION DE ANHIDRIDO CARBONICO

La utilización del indicador C^{14} de vida relativamente larga hizo posible que Calvin y sus colegas superaran sus primeras investigaciones, las cuales se habían limitado al uso de un indicador de corta vida, el C^{11} [6]. El primer trabajo mostraba que si se suministraba $C^{11}O_2$ en la oscuridad a una planta verde, la radiactividad se hacía notar ampliamente en los grupos carboxilos; bajo iluminación, aparecían marcados los compuestos libres de grupos carboxilos. En posteriores experimentos con $C^{14}O_2$, el análisis se pudo hacer más fácilmente por los nuevos métodos cromatográficos. La técnica ha sido aplicada especialmente a la *Chlorella* y otras algas, pero se han hecho también observaciones sobre plantas superiores. Después de exponer la planta al $C^{14}O_2$, se la mata rápidamente en alcohol hirviendo y se la somete a un proceso de extracción sucesiva con alcohol al 80 y 30%; los extractos combinados se concentran en el vacío. Entonces se hacen cromatogramas bidimensionales en papel y las manchas radiactivas se identifican con autorradiografías. Después de períodos de iluminación que duran varios minutos, muestran radiactividad una gran variedad de compuestos de carbono, incluyendo azúcares, grasas y proteínas. Cuando se acortaba el período de iluminación, el número de compuestos marcados disminuía, suponiéndose al principio que, en el límite, el compuesto en el cual aparecía más pronto la radiactividad debía ser el primer producto de fotosíntesis. Más tarde se obtuvieron curvas en las cuales se trazaba individualmente la radiactividad de los compuestos (como una fracción del carbono fijado total) en función del tiempo y las curvas eran extrapoladas a tiempo cero (Fig. 2). Tales curvas indican claramente que el

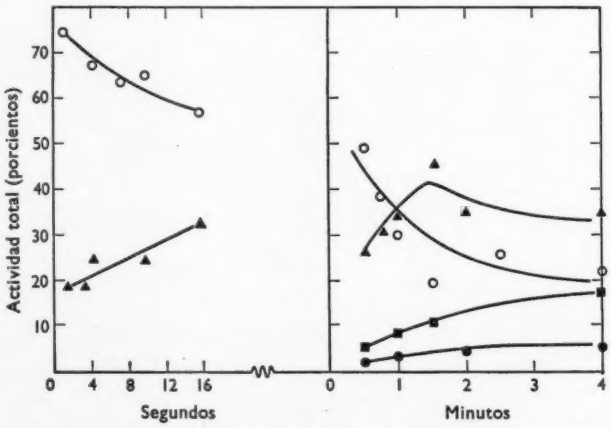


FIGURA 2 – *El porcentaje de radiactividad incorporado a diferentes compuestos como función del tiempo durante la fotosíntesis en* Scenedesmus *en presencia de* $C^{14}O_2$. o = *ácido fosfoglicérico.* ▲ = *fosfatos de azúcar.* ■ = *ácidos málico y aspártico.* • = *alanina.* (*Según* Symp. Soc. exp. Biol., 5, 284, 1951, *y* [6]).

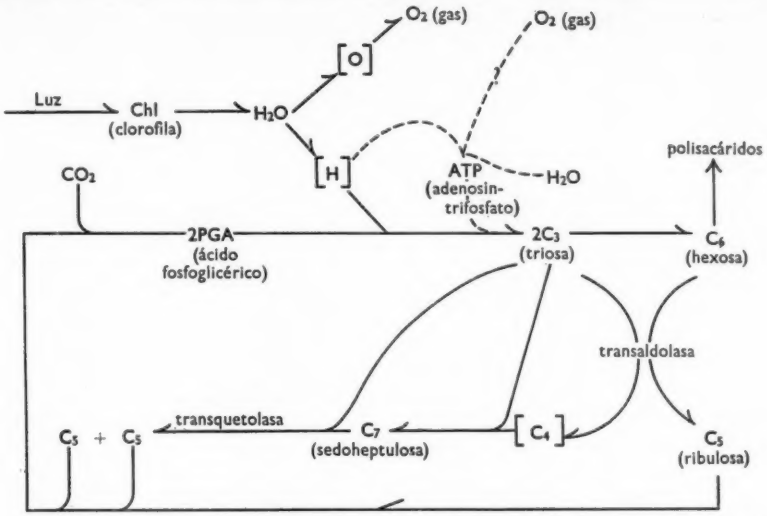


FIGURA 3 – *El camino del carbono en la fotosíntesis, según la hipótesis de Calvin y sus colegas.*

ácido fosfoglicérico (AFG) es el primer compuesto marcado que se detecta y contiene las tres cuartas partes del carbono total fijado después de dos segundos de iluminación. Otros compuestos marcados en el principio incluyen el ácido málico, ácido glicérico libre, ácido fosfo-enolpirúvico y pequeñas cantidades de ésteres fosfóricos de azúcar. Cuando el tiempo de iluminación se prolonga, la radiactividad relativa del AFG desciende rápidamente, mientras que la de otros compuestos, por ejemplo el ácido fosfo-enolpirúvico, aumenta hasta un máximo y desciende subsiguientemente; un tercer grupo, representado por la sacarosa y la alanina, muestra un aumento continuo. Se asegura que el último grupo representa los productos finales, el segundo los intermedios y el primero los productos iniciales.

Para cortos períodos de iluminación, la radiactividad en el AFG está limitada al grupo carboxilo, lo que sugiere que está formado por adición de anhídrido carbónico a algún carbono precursor. Más tarde la molécula llega a estar uniformemente marcada, lo que indica la regeneración de un precursor ulterior que contiene el anhídrido carbónico ya incorporado. Una indicación de la naturaleza de este precursor se obtiene de un estudio del orden de sucesión de marcado en los compuestos marcados al principio de la iluminación. La hexosa se marca inicialmente en los átomos de carbono 3 y 4 y finalmente en todos los 6; así la hexosa procede probablemente del AFG.

$$3C_5 + 3C^*O_2 \rightarrow 6AFG\ (C_3C_2C_1^*) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$AFG \rightarrow \text{fosfato de triosa}\ (C_3C_2C_1^*) \rightarrow \text{hexosa}^1\ (C_3C_2C_1^*C_1^*C_2C_3) \ldots (2)$$

$$\text{hexosa} + 2\ \text{triosa} \rightarrow \text{pentosa} + \text{sedoheptulosa} \ldots (3)$$

$$C_1C_2C_3^*C_4^*C_5C_6 \quad C_3C_2C_1^* \quad C_3^*C_2C_1C_5C_6 \quad C_1C_2C_3^*C_4^*C_1^*C_2C_3$$

$$\text{sedoheptulosa} + \text{triosa} \rightarrow 2\ \text{pentosa} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$$C_1C_2C_3^*C_4^*C_5^*C_6C_7 \quad C_3C_2C_1^* \quad C_1C_2C_3^*C_4^*C_5^* \quad C_3C_2C_1^*C_6C_7$$

El fosfato de sedoheptulosa se marca al principio en los átomos de carbono 3, 4 y 5 y el fosfato de ribulosa en el carbono 3 y, en un menor grado, en los átomos 4 y 5. Así, la ribulosa no puede proceder directamente de la hexosa sino del compuesto de 7 átomos de carbono. Las ecuaciones (1)–(4) indican el proceso propuesto por Calvin, que aparece resumido en la Fig. 3.

La prueba cinética de tal proceso se obtuvo con una suspensión de *Chlorella*, reduciendo rápidamente la concentración de anhídrido carbónico durante la fotosíntesis; de ello resultó una elevación rápida en el marcado del compuesto de 5 carbonos, mientras disminuía el del compuesto de 3 carbonos. Además, después de cesar la iluminación, había un descenso en el marcado del

[1] El número de cualquier átomo en el producto es el que llevaba en el reactante. Así, en la hexosa los 1, 2 y 3 resultaban de una molécula de triosa y los 4, 5 y 6 de otra molécula. Por consiguiente, se escribe $C_3C_2C_1C_1C_2C_3$.

compuesto de 5 carbonos junto con una elevación en el del compuesto de 3 carbonos. Estos experimentos muestran claramente una interrelación entre los compuestos de 3 y 5 carbonos. Las enzimas que catalizan las reacciones (3) y (4), transaldolasa y transquetolasa respectivamente, se han obtenido en las hojas de espinaca. Calvin y sus colegas han preparado extractos sónicos de *Chlorella*, los cuales pueden fijar en la oscuridad, cuando se les agrega difosfato de ribulosa, el anhídrido carbónico y formar AFG. Esto es una comprobación de la reacción (1). Racker [8] ha mostrado que homogeneizados de hojas de espinaca pueden catalizar en la oscuridad la conversión del anhídrido carbónico en un carbohidrato si se añade adenosintrifosfato (ATF), fosfato de ribosa y coenzima reducida. De esta forma se puede postular un proceso para la incorporación del anhídrido carbónico en los azúcares de acuerdo con todos los hechos conocidos. De ahí resulta que la función de la energía luminosa es proporcionar compuestos reducidos, tales como coenzima reducida, y un medio para la fosforilación de los derivados de azúcares.

Queda la posibilidad de que importantes intermediarios en la fotosíntesis puedan no aparecer en los estudios con indicadores si están presentes solamente en muy pequeña cantidad o si la actividad está localizada en la célula. Existe también la dificultad, universal con los indicadores en este campo, de distinguir componentes marcados por un camino no relacionado con la fotosíntesis, pero sin embargo afectado por la luz. En *Chlorella* hay un amplio conjunto metabólico de compuestos de carbono que van reuniéndose bajo condiciones de oscuridad y aerobiosis; al recibir luz, se inicia repentinamente la producción de anhídrido carbónico, el cual está relacionado probablemente con el conjunto «oscuro» anterior [9]. Las sustancias comprendidas en este proceso no han sido identificadas químicamente todavía pero parece probable que no sean las postuladas por Calvin en su presente esquema. Podemos, pues, distinguir un ciclo en la luz de compuestos de 3, 5 y 7 carbonos de, por ejemplo, el bien conocido ciclo de Krebs de compuestos de 2, 4 y 6 carbonos. La presente posición ofrece gran estímulo para un estudio sistemático de los sistemas enzimáticos relacionados con la fijación de carbono en las plantas verdes.

EL PAPEL DE LA QUIMIOSINTESIS EN LA FOTOSINTESIS

El proceso de producción de los ésteres fosfóricos que están probablemente relacionados con la fijación fotosintética del anhídrido carbónico, no es todavía conocido. Es evidente que en *Chlorella*, el contenido de ATF aumenta durante la iluminación [10]. Los estudios de bioquímica comparada sugieren que el ATF puede proceder de un proceso oxidante, cuyo sustrato formaría parte del producto reducido formado en la reacción cloroplástica. Como decíamos anteriormente, la adición de preparaciones mitocondriales a los cloroplastos iluminados se traduce en la formación de ATF. Se ha obtenido en forma relativamente pura un citocromo característico de los tejidos verdes (citocromo *f*), que posiblemente representa un papel en la fotosíntesis reoxidando las sustancias reducidas en la generación de ATF.

Arnon y sus colegas [11] han demostrado recientemente que las preparaciones cloroplásticas de hojas de espinacas, aisladas cuidadosamente para preservar el cloroplasto entero (otros investigadores anteriores utilizaban cloroplastos fragmentados) pueden catalizar la formación de ATF de los fosfatos inorgánicos y adenosinmonofosfato (AMF), con un rendimiento de 4 a 20 veces mayor en la luz que en la oscuridad. Tales preparaciones fijan también anhídrido carbónico marcado y han conducido últimamente a la afirmación de que los cloroplastos separados del citoplasma pueden completar la secuencia total de la reacción fotosintética. Se han propuesto los pasos de reacción siguientes:

$$H_2O \xrightarrow[\text{cloroplasto}]{\text{luz}} 2e + 2H^+ + O \quad \ldots (5)$$

$$AMF + 2H_3PO_4 + 2e + 2H^+ + O \rightarrow ATF + H_2O \quad \ldots (6)$$

$$AMF + 2PO_4 \rightarrow ATF$$

Las investigaciones para identificar los compuestos en los cuales se incorpora el carbono indicador continúan. También se intenta separar, si es posible, el sistema enzimático relacionado con la fosforilación del que se relaciona con la reducción carbónica.

El proceso sugiere dos posibilidades. La primera es que el oxígeno se libere en la reacción (5) y vuelva a consumirse en la reacción (6). En este caso la reacción (6) sería análoga a la reacción general en los organismos quimiosintéticos, es decir: organismos que obtienen su energía total para la reducción del anhídrido carbónico de la oxidación de algunas sustancias químicas tales como H_2S, presentes en su medio. Warburg y sus colaboradores propugnan tal proceso quimiosintético en la fotosíntesis de *Chlorella* porque han

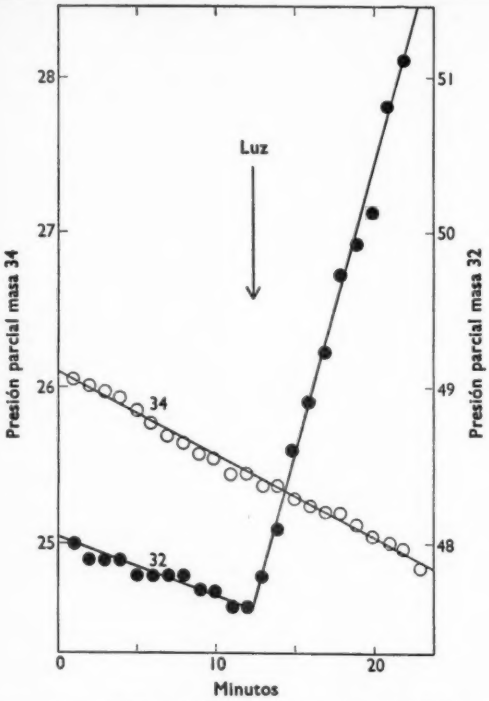


FIGURA 4 – *Diferenciación entre los procesos simultáneos de consumo de oxígeno debido a la respiración y producción de oxígeno debido a la fotosíntesis en la luz, utilizando isótopos de oxígeno. O^{34} estaba presente en la fase gas y su consumo es proporcional a la tasa respiratoria. El O^{32} estaba presente en el agua también y es consumido en la oscuridad, pero consumido y producido en la luz debido a la «escisión del agua» en la fotosíntesis. Los cálculos muestran que la tasa de oxígeno consumido no cambia por la iluminación. (Según van Norman, R. W., y Brown, A. H.,* Plant Physiol., 27, 691, 1952.)

hallado que por períodos alternos de luz y oscuridad se obtienen cambios en la tasa de producción y consumo de oxígeno, los cuales se pueden interpretar como debidos a un incrementado desarrollo gradual de una reacción de consumo de oxígeno en la luz, seguido de un descenso general en la oscuridad. Otra alternativa parece más probable. El oxígeno como tal no necesita ser utilizado para la formación de ATF, sino más bien lo es el radical oxidado que se forma mediante «escisión» del agua. Como apoyo de este punto de vista, Brown [12] ha indicado, utilizando isótopos del oxígeno, que el consumo de oxígeno de la fase gas por *Chlorella*, no se altera como resultado de la iluminación (Fig. 4). Arnon ha mostrado también recientemente que la fosforilación durante la iluminación en las preparaciones de cloroplastos enteros procede más rápidamente bajo condiciones de anaerobiosis que en aerobiosis. Esto significa no solamente que el oxígeno es innecesario sino que es en realidad inhibidor; lo cual es posible debido a la reoxidación de intermediarios reducidos por el otro camino alterno. Frenkel [11] ha constatado que sucede lo mismo con preparaciones de la bacteria fotosintética *Rhodospirillum rubrum*.

Se puede obtener información acerca de la proporción entre formas oxidadas y reducidas *in vivo* de ciertos portadores de hidrógeno, si las dos formas difieren en su espectro de absorción. Duysens [13] examinó el cambio en el espectro de absorción producido por iluminación de una suspensión de *Chlorella* y encontró un cambio de absorción en el espectro visible, que podría ser interpretado como un aumento del citocromo *f* oxidado en proporción con el reducido; también observó cambios en el espectro ultravioleta que pudieran ser debidos al aumento en coenzima reducida. Los datos son tales que la interpretación es dudosa; sin embargo, concuerda con nuestro concepto general del proceso de la fotosíntesis. Efectos semejantes han sido observados por Witt [13], quien sugiere, sin embargo, que los cambios en la absorción por la *Chlorella* consecuencia de la iluminación pueden estar relacionados con estados de excitación de la clorofila.

Las curvas de la producción de oxígeno y consumo de anhídrido carbónico durante los primeros minutos de iluminación demuestran una estrecha relación; es aun más estrecha que la que pudiera esperarse *a priori* si la escisión del agua y la reducción carbónica representaran dos sistemas de reacción independientes. Parece posible que en la célula viva exista un regulador obligatorio entre ambos sistemas, debido a las necesidades de ATF en el ciclo de reducción y su generación a base de los radicales oxidados producidos a partir del agua.

PROBLEMAS PARA EL FUTURO

El proceso estudiado no ha quedado rigurosamente establecido; más bien sirve para mostrar el lugar que corresponde a los estudios de fotosíntesis en el campo general de la bioquímica. Hoy, la fotosíntesis no parece ser un proceso exclusivo de las plantas verdes; además, parece producirse en una forma que la moderna bioquímica muy bien pudiera haber previsto. Pero es necesario realizar más investigaciones: quizás hasta ahora no sólo hemos buscado una interpretación que concuerde con los datos ya conocidos, derivados principalmente del estudio del metabolismo en la oscuridad, sino que además hemos prestado escasa atención a manchas cromatográficas inidentificables que

pueden acaso encerrar el secreto de alguna característica exclusiva de la fotosíntesis.

Es rigurosamente cierto que allí donde cesa la aportación de la bioquímica comparada, en la frontera entre la física y la química de la fotosíntesis es donde menos conocemos los posibles procesos. La manera en que la energía de excitación es previamente fijada en forma química sigue siendo un problema. La coenzima reducida puede ser el producto final de toda una secuencia de transferencias de hidrógeno interpuestas después de la escisión del agua. Actualmente se llevan a cabo investigaciones para averiguar si se pueden aislar en las plantas verdes portadores o catalizadores específicos de tal transferencia. Hill y sus colaboradores [14] han aislado en forma impura una proteína que permite transferir hidrógeno del sistema cloroplástico a reactivos adicionales inertes en ausencia de la proteína.

En un estudio estimulante, pero especulativo, Warburg [15] ha sugerido que un carotenoide actúa como portador de hidrógeno entre la escisión del agua y la reducción de la coenzima. Este punto de vista se apoya en experimentos en los cuales se ha comprobado con *Chlorella* que la eficiencia fotosintética en la luz roja aumenta aparentemente si existe exposición previa a la luz azul-verdosa; es más, la inhibición de la fotosíntesis debida a la orto-fenantrolina — agente de quelación metálica — queda contrarrestada mediante iluminación con luz azul-verdosa. Warburg interpreta estas observaciones a base de la noción de enzimas fotosintéticas, probablemente conteniendo grupos metálicos, preferentemente activadas por la luz azul-verdosa. Deben hacerse muchas observaciones para probar esta hipótesis.

Ciertas investigaciones fisiológicas sirven para determinar la fotosíntesis producida por breves destellos [16]. Si se ilumina *Chlorella* con destellos de menos de 10^{-4} segundos, el oxígeno producido depende de la amplitud del intervalo oscuro entre los destellos y alcanza un valor asintótico independiente de la intensidad del relámpago. Existe por tanto un límite a la cantidad de energía que puede ser fijada durante un destello lo cual puede deberse a una limitada cantidad de sustancia portadora, que, una vez cargada, debe quedar suficiente tiempo en la oscuridad para su descarga antes de que vuelva a cargarse otra vez. La cantidad de esta sustancia corresponde a una molécula por cada dos mil moléculas de clorofila. No se conoce la identidad química de este portador.

REFERENCIAS

[1] Duysens, L. N. M. Tesis doctoral, Universidad de Utrecht, 1952.

[2] Warburg, O., Krippahl, G., Buchholz, W., y Schröder, W. *Z. Naturf.*, **8b**, 675, 1953.

[3] Tamiya, H., Iwanura, T., Shibata, K., Hace, E., y Nihei, T. *Biochim. biophys. Acta*, **12**, 23, 1953.

[4] Hill, R. y Scarisbrick, R. *Proc. roy. Soc. B.*, **129**, 238, 1940.

[5] Vishniac, W. y Ochoa, S. *J. biol. Chem.*, **195**, 75, 1952.
Tolmach, L. J. *Nature, Lond.*, **167**, 946, 1951.
Arnon, D. I. *Ibid.*, **167**, 1008, 1951.

[6] Calvin, M. *J. chem. Educ.*, **26**, 639, 1949.
Bassham, J. A., Benson, A. A., Kay, L. D., Harris, A. Z., Wilson, A. T., y Calvin, M. *J. Amer. chem. Soc.*, **76**, 1760, 1954.

[7] Quayle, J. R., Fuller, R. C., Benson, A. A., y Calvin, M. *Ibid.*, **76**, 3610, 1954.

[8] Racker, E., *Nature, Lond.*, **175**, 249, 1955.

[9] Emerson, R. y Lewis, C. M. *Amer. J. Bot.*, **28**, 789, 1941.
Brown, A. H. y Whittingham, C. P. *Plant Physiol.*, 1955 (en prensa).

[10] Strehler, B. L. *Arch. Biochem.*, **43**, 67, 1953.

[11] Arnon, D. I., Whatley, F. R., y Allen, M. B. *J. Amer. chem. Soc.*, **76**, 6324, 1954.
Frenkel, A. *Ibid.*, **76**, 5568, 1954.

[12] Brown, A. H. *Amer. J. Bot.*, **40**, 719, 1953.

[13] Duysens, L. N. M. *Science*, **120**, 352, 1954.
Idem. Ibid., **121**, 210, 1955.
Chance, B. *Ibid.*, **120**, 767, 1954.
Lundegardh, H. *Physiol. Plant.*, **7**, 375, 1954.
Witt, H. T. *Z. phys. Chem.*, **4**, 120, 1955.

[14] Davenport, H. E., Hill, R., y Whatley, F. R. *Proc. roy. Soc. B.*, **139**, 346, 1952.

[15] Warburg, O. *Angew. Chem.*, **66**, 493, 1954.

[16] Emerson, R. y Arnold, W. *J. gen. Physiol.*, **15**, 391, 1932.

BIBLIOGRAFIA

Hill, R. y Whittingham, C. P. «Photosynthesis». Methuen and Company Limited. Londres. 1955.

Rabinowitch, E. I. «Photosynthesis». Interscience Publishers Limited, Londres. Vol. I, 1945; Vol. II, 1951; Vol. III, en prensa.

La historia de las rosas de cultivo

ANN WYLIE

Aunque la hibridación de plantas como los cereales y el tabaco tenían como fin la obtención de razas resistentes a las enfermedades y adaptables a determinadas condiciones climáticas, la hibridación de las rosas, iniciada en el siglo XVIII, perseguía nuevas expresiones de belleza en la forma y color de flores y follaje. Pero la inmensa variedad de resultados a que conduce la persecución de un fin estético ha servido para descubrir interesantes ejemplos de los numerosos procesos genéticos relacionados con los procesos generales de hibridación.

Como sucede con numerosos grupos de plantas de cultivo, la historia primitiva de las rosas de jardín es oscura. Sin embargo, los estudios genéticos y citológicos modernos, según indica Crane [1], nos permiten conocer el desarrollo de diversas variedades de cultivo actuales, como el trigo, el tabaco y la fresa. De idéntico modo, esos estudios han aportado datos sobre el origen de numerosos grupos de plantas ornamentales.

Los principales procesos que intervienen en esta evolución han sido clasificados por Crane en los grupos siguientes: 1º, Mutación de los genes; 2º, Simple autopoliploidismo, esto es: la multiplicación de un equipo cromosómico en una planta normal no híbrida, lo cual generalmente resulta en el incremento del tamaño de la flor y del material vegetal, como en el caso de los tetraploides artificiales de *Antirrhinum* y *Salvia*, de reciente introducción; 3º, Hibridación interespecífica; 4º, Hibridación interespecífica acompañada de duplicación cromosómica (alopoliploidismo). La mayoría de los híbridos interespecíficos muestran diversos grados de esterilidad, y la duplicación del número de cromosomas de tales híbridos resulta con frecuencia en la restauración de su fertilidad y en un general aumento de su tamaño, debido al poliploidismo. El desarrollo de las actuales rosas de cultivo nos ofrece ejemplos de todos esos tipos de cambio. Según han indicado Hurst [2] y otros, este desarrollo puede considerarse en dos partes: una, anterior a 1800, durante la cual se desarrollaron los grupos de las llamadas viejas rosas europeas, y la segunda, desde 1800 hasta nuestros días, que comenzó con la introducción en la Europa occidental de las rosas de floración perpetua del lejano oriente.

Los escasos conocimientos que poseemos sobre el desarrollo de las antiguas rosas europeas están admirablemente resumidos por Hurst. La especie ancestral más importante de todos los grupos es *Rosa gallica*, indígena de la Europa meridional y Asia occidental. La Fig. 1, tomada de la gran obra de Redouté, *Les Roses*, muestra una flor sencilla de *R. gallica*, seguramente muy próxima a la especie silvestre. Esta especie es un tetraploide de 28 cromosomas, igual que las variedades de cultivo de *gallica* y de los grupos con ella estrechamente relacionados de *damascena*, *centifolia*, *y muscosa*. *R. gallica* presenta infinitas variedades, habiéndose conservado en las actualmente cultivadas las numerosas mutaciones que deciden el color y el carácter doble de la flor. Es también muy fértil, y se han conseguido numerosas variedades mediante la hibridación de diferentes formas seguida de la selección de la progenie. La hibridación como sistema no se inició hasta el siglo XVIII, cuando primero los horticultores holandeses, y luego los franceses se interesaron en estos trabajos. A principios del XIX se conocía ya más de un millar de variedades, de las cuales sobreviven hoy pocas.

El orígen de *centifolia* es desconocido, aunque indudablemente *R. gallica* es uno de sus antepasados; como ésta, casi todas las variedades de *centifolia* son tetraploides. Las primeras, que datan de principios del siglo XVIII, eran todas de flor doble, con todos sus estambres convertidos en estructuras petaloides y su carpelo imperfectamente desarrollado. Era por tanto imposible la reproducción de estos rosales, y la única manera de obtener nuevas variedades fué, durante mucho tiempo, mediante mutaciones gemarias, esto es, una mutación génica producida en una célula somática. Si la mutación tiene lugar bien al principio de la evolución de la yema, la mayor parte del vástago que se forma más tarde puede presentar la constitución génica alterada. Al principio del siglo XIX se produjo una mutación hacia la flor simple, lo que permitió la hibridación con otros grupos. Una de las mutaciones notables de *centifolia* fué la que produjo los caracteres de *muscosa*, lo cual significó la formación de complejos pelos glandulares sobre el tallo floral, el

tabique ovárico y los sépalos, extendiéndose en algunos casos hasta los tallos y hojas jóvenes.

El pequeño grupo de variedades de *R. alba*, que incluye la rosa blanca de la Casa de York, tiene características más marcadas que los restantes grupos europeos. Son hexaploides, con 42 cromosomas; el grupo se originó de alguna hibridación fortuita entre *R. canina* (cuyos gametos femeninos contienen 28 cromosomas) y *R. gallica*.

Todas esas antiguas variedades europeas tenían una sola estación de floración — a principios del verano —, excepto ciertas variedades damascenas que producen una floración esporádica en el otoño. Sin embargo, dentro del género, el grupo chinense presenta floración continua. En él se encuentran las especies diploides *R. chinensis*, de China, y *R. gigantea*, de Birmania; la Fig. 4, tomada de la obra de Ellen Willmott, *The Genus Rosa*, presenta un ejemplar de la última. Los chinos habían cultivado estas plantas durante muchos siglos antes de que, al final del XVIII, se estableciesen relaciones comerciales regulares con Europa; las variedades que llegaron a Inglaterra eran cultivadas y, con toda probabilidad, distantes en muchas generaciones de las especies silvestres de *R. chinensis* y *R. gigantea*. Al parecer, sólo cuatro de estas variedades participaron en el posterior desarrollo de nuestras rosas actuales; las cuatro están plenamente descritas por Hurst [2]. Dos de ellas aparecen en las Figs. 7 y 2: *R. semperflorens* (importada en 1792), tomada de una ilustración de uno de los primeros números del *Botanical Magazine* de Curtis, y «Parsons' Pink China» (1793), tomada de Redouté. Las otras dos variedades, hoy extintas, mostraban una preponderancia de los caracteres de *R. gigantea*, eran de color rosa pálido y amarillo pálido respectivamente y representaron importante papel en el desarrollo de las rosas de té.

La hibridación de esas variedades chinas con las rosas europeas comenzó muy poco después de su aclimatación. En ese proceso pueden distinguirse varias fases. Los primeros cruzamientos resultaron en dos grupos distintos: el de las Noisette y *R. borboniana* (Rosier de l'île Bourbon); las primeras eran un cruce entre «Pink China» y *R. moschata* (Fig. 3, según Redouté), del que resultó una especie diploide estrechamente relacionada con *R. chinensis*: un rosal trepador que produce ramilletes de dulce aroma. El híbrido inicial, cultivado en Norteamérica, era de floración estival, como *R. moschata*, con un gene recesivo de floración continua. Sin embargo, en Francia, gracias a sus experimentos de recombinación, M. Noisette consiguió derivados de floración continua, uno de los cuales aparece en la Fig. 5, tomada de Redouté. Estas primeras variedades de Noisette fueron retro-cruzadas con *chinensis*, produciendo rosales de flor más grande y parecida a las rosas de té. Algunas de ellas, tales como «Maréchal Niel» y «William Allen Richardson» se cultivan todavía. Las Noisettes son diploides, como sus antepasados.

El grupo Borbón resultó de un cruce accidental entre «Pink China» y una antigua variedad de *damascena*, ocurrido en 1815 en la Isla de la Reunión, entonces llamada Isla de Borbón. El cruzamiento de este primer híbrido con *gallica* y *damascena* produjo un grupo de vigorosos arbustos con flores de maravilloso aroma; la Fig. 6 (tomada de Redouté) ilustra una de las primeras variedades. Entre las Borbones actuales están «Souvenir de la Malmaison», «Zéphyrine Drouhin» (ambas triploides), «Louise Odier» y «Madame Pierre Oger» (tetraploides). Las Borbones también participaron en el desarrollo del posterior grupo de rosas de té, ya que numerosas variedades de éstas de color rojo pálido proceden de un cruce entre una Borbón y una descendiente de *gigantea*. El intercruce de estas Borbón-té con las Noisette-té mencionadas antes produjo nuevas variedades en la clase de rosas de té. Entre 1850 y 1890 alcanzaron fama notable algunas variedades por la abundancia de sus flores de hermosa forma e intenso perfume; sin embargo, no resistían bien el clima de Inglaterra y de la Europa septentrional. Variedades bien conocidas son «Marie van Houtte», «Safrano» y «Perle des Jardins»; la trepadora «Gloire de Dijon» es intermedia entre las Noisettes y las rosas de té.

Las importantes variedades chinas fueron asimismo cruzadas con *gallica* y otras rosas europeas, produciendo las llamadas híbridas chinas, arbustos de floración estival muy populares durante la primera mitad del siglo pasado. Eran, por lo general, triploides y, por consiguiente, muy estériles; pero una importante discontinuidad genética ocurrida hacia 1830 produjo tetraploides fértiles, por ejemplo «Malton» y «Athalin». El cruce de estas híbridas chinas con las variedades Borbón posteriores (también tetraploides) y las Portland — pequeño grupo derivado de *R. chinensis* y «Autumn Damask» — produjo la colección un tanto heterogénea de rosas denominadas híbridas perpetuas, muy cultivadas, junto con las rosas de té, durante la segunda mitad del siglo pasado. Eran arbustos resistentes que, a pesar de su nombre, sólo presentaban una segunda floración otoñal en algunas especies. Entre las más famosas están «Général

FIGURA 1 – Rosa gallica rosea (*flore simplici*). Les Roses, *por P. J. Redouté, texto de C. A. Thory. Edición en folio. Publicado por Firmin Didot, París,* 1817–24. *Vol.* 3.

FIGURA 2 – Rosa indica vulgaris. Les Roses, *por P. J. Redouté. Vol.* 1.

FIGURA 3 – Rosa moschata. Les Roses, *por P. J. Redouté.*

FIGURA 4 – Rosa gigantea (*original*). The Genus Rosa, *por Ellen Willmott, dibujos de Alfred Parsons. Vol.* 1, *Plancha* 34. *Publicado por John Murray, Londres* 1914.

FIGURA 5 – Rosa Noisettiana. Les Roses, *por P. J. Redouté. Vol.* 2.

FIGURA 7 – Rosa semperflorens. The Botanical Magazine, *por William Curtis.* 1794. *Vol.* 8, Plancha 284.

FIGURA 6 – Rosa canina Bourboniana. Les Roses, *por P. J. Redouté. Vol.* 3.

FIGURA 8 – Rosa lutea; *rosa amarilla simple.* A Collection of Roses, *por Miss M. Lawrance.* 1799. *Publicado por la autora. Plancha* 12.

Jacqueminot», «La Reine» y «Frau Karl Druschki».

Tanto las rosas de té como las híbridas perpetuas tenían por tanto sus defectos, lo cual explica los esfuerzos realizados para conseguir por hibridación una raza que combinase las buenas cualidades de ambas. El primero en obtenerlo fué el cultivador francés M. Guillot, quien en 1867 presentó la variedad «La France», antecesor de la clase denominada rosas de té híbridas, que son las que predominan en los jardines de nuestro siglo. «La France» es triploide, como era de esperar del producto del cruce entre una rosa de té diploide y una híbrida perpetua tetraploide. Estas rosas de té híbridas primeras eran bastante estériles, como las primeras Borbones e híbridas chinas. Durante los primeros 25 años se obtuvieron numerosas variedades de rosas de té híbridas repitiendo el cruce té-híbrida perpetua a base de diferentes variedades paternas. Más tarde, hacia el fin del siglo, aparecieron tetraploides, debido probablemente a la intervención de gametos no reducidos: esto es, granos de polen o sacos embrionales que contienen el mismo número de cromosomas que las células somáticas (y no la mitad). Esto se produce cuando falla una de las dos fases de la meyosis. Uno de los primeros tetraploides fué la famosa «Caroline Testout», de fertilidad restaurada. Como resultado se produjo la rápida aparición de nuevas variedades. Debido sobre todo a la mayor duración del período de floración, las rosas de té híbridas vinieron así a ocupar en los jardines el lugar predominante que antes correspondía a las híbridas perpetuas, sus antepasadas. Tenían la ventaja de una mayor resistencia que sus otras antepasadas, las rosas de té.

Los colores de las primeras variedades de las rosas de té híbridas iban desde el rojo encendido, pasando por el rosa, hasta el blanco: no había variedades amarillas buenas, las cuales no surgieron hasta después de introducida una nueva especie. Hacia principios de este siglo el famoso cultivador francés M. Pernet-Ducher obtuvo un híbrido de la rosa amarilla persa *R. foetida* (antes conocida como *R. lutea*, Fig. 8) y una de las híbridas perpetuas. *R. foetida* es tetraploide, como las híbridas perpetuas y las rosas de té híbridas posteriores; florece sólo una vez, al principio del estío, como la mayoría de las especies de *Rosa*. El primer híbrido, cruzado con una rosa de té híbrida, produjo la primera variedad realmente amarilla, «Soleil d'Or», de la cual se derivaron las llamadas Pernetianas, que se caracterizaban no sólo por sus brillantes colores amarillo y naranja sino también, desgraciadamente, por su ausencia de aroma, su susceptibilidad a una infección fúngica (*Diplocarpon rosae*) y su excesiva espinosidad, heredada de *foetida*. El repetido cruce con buenas variedades de rosas de té híbridas, y una cuidadosa selección durante los 25 años siguientes condujeron por fín a la eliminación de la mayoría de los defectos heredados de *foetida*, así como la completa fusión de las Pernetianas con las rosas de té híbridas propiamente dichas. Pocas variedades de estas últimas existen hoy que no desciendan de «Soleil d'Or» o de uno de los primeros resultados de su cruce con *R. foetida*.

Hasta el presente, ninguna otra especie ha intervenido en la producción de las rosas de té híbridas, de modo que este grupo — hoy de gran extensión — tiene como antepasados las siguientes especies: *R. chinensis*, *R. gigantea*, *R. moschata* (diploides), *R. gallica* y sus antiguas derivaciones y *R. foetida* (tetraploides) (*Vid.* esquema de la Fig. 9).

Otro grupo menos importante es el desarrollado hacia la misma fecha que el de las rosas de té híbridas. Tuvo su orígen en un cruce de *R. chinensis* con otra especie del lejano oriente, *R.*

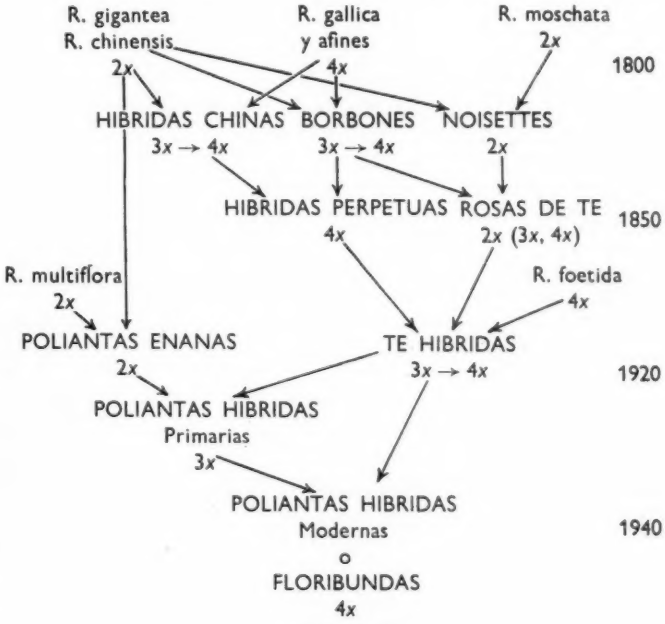


FIGURA 9

multiflora, que es un diploide trepador con enormes ramos de inflorescencias pequeñas y blancas. En la segunda generación aparecieron rosales enanos que florecían durante todo el verano. De estas variedades ancestrales — «Mignonette» y «Paquerette» — se desarrolló la clase de poliantas enanas (*R. multiflora* se denominaba entonces *R. polyantha*). Otras variedades posteriores son «Orleans», «Gloria Mundi» y «Coral Cluster». Las poliantas enanas son todas diploides, como las especies de que se derivan. Muchas variedades de este grupo han surgido por mutaciones gemarias, una de las cuales merece ser mencionada pues ha permitido la considerable extensión de la gama de colores de las rosas de cultivo. Gracias a esa mutación, el pigmento pelargonidina vino a sustituir a la cianidina, que es el normal en *Rosa* (para un estudio de las antocianinas y antoxantinas *Vid.* [3]). La pelargonidina es la causa del brillante color naranja de las variedades «Paul Crampel» y otras poliantas enanas, color ése desconocido hasta 1930 en las rosas cultivadas.

El horticultor danés Poulsen creó una nueva clase cruzando esas poliantas enanas diploides con las rosas de té híbridas tetraploides, con el propósito de conseguir una raza verdaderamente resistente y con grandes inflorescencias que sirviera para el cultivo al aire libre en el clima rigoroso de Europa septentrional. En efecto, la nueva clase polianta híbrida, que surgió hacia 1920, combinaba la resistencia, largo período de floración y la inflorescencia en ramos de las poliantas enanas con el gran tamaño de flor y forma elegante de la rosa de té híbrida. Las primeras variedades, como «Else Poulsen» son triploides y bastante estériles, pero se recuperó el tetraploidismo mediante retrocruzamientos con la rama té híbrida de su genealogía. Como ejemplos tenemos «Donald Prior», «Dainty Maid», «Maid of Honour» (sin. «Schleswig»). El continuado retrocruzamiento ha producido en los últimos años una cantidad de variedades que es difícil ubicar entre las rosas de té híbridas o las poliantas híbridas, siendo probable que esas dos clases, antes distintas, se entremezclen totalmente durante la próxima década.

Las variedades primitivas de polianta híbrida apenas tienen perfume y son muy vulnerables a los hongos, características ambas heredadas de *R. multiflora*. Sin embargo, las variedades más recientes han mejorado en muchos aspectos, sobre todo aquéllas entre cuyos antepasados se encuentran descendientes de *muscosa* y *eglanteria*. El desarrollo de este grupo se debe principalmente a los trabajos de Kordes en Alemania y Boerner en Estados Unidos, encontrándose entre las notables variedades por ellos creadas «Sondermeldung» y «Fashion»: la primera de un vívido color rojo cinabrio (debido en parte a la presencia de pelargonidina) y la segunda de un delicado matiz coral-durazno.

Hay además numerosos grupos de rosas de cultivo de menor importancia, algunos de los cuales merecen sin embargo ser mencionados brevemente (para mayor detalle consúltese [4]). Los rosales trepadores pertenecen a diversos tipos distintos. Ya hemos mencionado las Noisettes y las rosas de té trepadoras. Hacia el final del siglo pasado, la hibridación entre *multiflora*, *chinensis*, Noisettes y otros grupos produjo la clase de Multifloras Vagabundas, que incluye «Tausendschön» y «Veilchenblau», con flores casi púrpura. Además, se produjo un grupo superior de trepadoras a partir de una nueva especie, *R. wichuraiana* procedente del Asia oriental. Sus híbridos tienen un más largo período de floración que las Multifloras Vagabundas y resisten mejor a los hongos. Son variedades muy cultivadas «Albertine», «Emily Gray», «Paul's Scarlet» y «Chaplin's Pink». Otro grupo importante de trepadoras son los mutantes accidentales (sports) trepadores de las rosas de té. Estos mutantes son idénticos a la variedad de rosal-mata de que proceden, excepto por su naturaleza trepadora. A diferencia de la mayoría de las variedades de *multiflora* y *wichuraiana*, que florecen sólo durante algunas semanas, las rosas de té trepadoras presentan una serie de floraciones a lo largo de la estación. «Crimson Glory Trepadora» y «Mrs. Sam McGredy» son dos de las variedades más seguras, ya que muchas de ellas tienden a revertir al carácter de arbusto o de mata.

Existen varios tipos distintos de rosales-arbusto que merecen ser mejor conocidos. Un grupo contiene los híbridos de *R. rugosa*; son resistentes al clima y enfermedades y tienen un prolongado período de floración. Las variedades cultivadas comunmente son «Belle Poitevine», «Roseraie de l'Hay, y «Conrad Ferdinand Meyer». *R. rugosa* pertenece a una sección enteramente diferente del género de la de las demás especies ancestrales, presentando sus híbridos extremada esterilidad, lo cual ha significado un obstáculo para la producción de nuevas castas, sólo recientemente vencido gracias a la aparición espontánea de la duplicación de cromosomas en el diploide «Max Graf». El tetraploide así formado, denominado *R. kordesii*, es fértil, y el horticultor alemán Kordes ha obtenido con él una variedad casi ideal de una trepadora resistente con floración perpetua.

Las muscosas híbridas son excelentes arbustos y descienden de las antiguas Noisettes por cruzamiento con las rosas de té híbridas y otros grupos, siendo principalmente el resultado de los trabajos de Lambert en Alemania y Pemberton en Inglaterra. Variedades bien conocidas son «Penelope», «Prosperity» y «Nur Mahal», las cuales producen ramilletes de flores de dulce aroma durante todo el verano y el otoño. Algunas muscosas híbridas han tenido participación importante en el desarrollo de rosales semejantes a las poliantas híbridas, y muchas variedades modernas de inflorescencias agrupadas son derivados complejos de poliantas híbridas y muscosas híbridas combinadas, y, en algunos casos se derivan también de eglantinas (*R. eglanteria*) híbridas. Ejemplos son «Grandmaster», «Rudolph Timm» y «Cocorico».

La eglanteria nativa británica *R. rubiginosa*, es uno de los antepasados de las rosas Penzance, producidas a fines del pasado siglo por Lord Penzance mediante cruzamiento con híbridas perpetuas y *R. foetida*. Muchas de ellas recibieron nombres de las heroinas de Walter Scott, tales como «Lucy Ashton», «Flora McIvor» y «Anne de Geierstein». Conservan el follaje dulcemente aromado de *R. rubiginosa* y tienen brillantes flores semi-dobles y atrayentes seudocarpos. Los derivados de las Penzance han sido utilizados recientemente por Kordes para cultivar rosales de inflorescencias en ramo, algunas de las cuales presentan notable resistencia a la infección de *Diplocarpon*.

Finalmente merece mención un grupo de arbustos que tiene como antepasado a la rosa escocesa (Burnet) *R. spinosissima*. También se deben a Kordes, quien cruzó esta especie con las rosas de té híbridas y obtuvo diversos arbustos de temprana floración de considerable mérito. Entre ellos están «Frühlingsgold», con flores dobles amarillas, «Frühlingsmorgen», con grandes flores sencillas de pétalos amarillos en el centro que van matizándose de rosa hacia los bordes.

Este breve estudio demuestra que el factor más importante en la evolución de las rosas de cultivo ha sido la hibridación interespecífica y, más recientemente, la hibridación entre diferentes grupos formados por los primeros cruzamientos. El poliploidismo ha tenido importancia en algunas clases al elevar los miembros diploides y triploides de un grupo al nivel tetraploide de algunas de sus especies ancestrales, lo cual ha facilitado indudablemente el intercambio génico entre los diferentes grupos, conduciendo en nuestro siglo a la desaparición de las fronteras entre clases antiguamente distintas.

Aunque el género *Rosa* es muy extenso y variado y presenta más de un centenar de especies en la zona templada septentrional de ambos continentes, sólo se han empleado seis de dichas especies para el desarrollo de los importantes grupos tratados en este artículo. Otros ocho han intervenido en desarrollos de menos importancia, que hemos indicado brevemente. El restante 90% del género contiene especies de valor que pueden ser muy útiles al cultivador de rosas, como puede comprobarse con una visita a la Colección Nacional de Especies de Rosas de la *John Innes Horticultural Institution*. Por fortuna, algunos cultivadores de Europa y de los Estados Unidos han venido utilizando en sus programas especies hasta ahora desdeñadas y obtenido resultados preliminares muy promisorios. Pero aun quedan por resolver numerosos problemas relacionados con la esterilidad y con otros problemas genéticos básicos.

Agradecemos la asistencia prestada por la *Royal Horticultural Society* facilitando los libros de los que se han tomado las reproducciones en color.

REFERENCIAS

[1] CRANE, M. B. *Endeavour*, **2**, 110, 1943.
[2] HURST, C. C. *J. roy. Hort. Soc.*, **66**, 73, 1941; **66**, 242, 1941; **66**, 282, 1941.
[3] ROBINSON, R. *Endeavour*, **1**, 92, 1942.
[4] WYLIE, A. P. *J. roy. Hort. Soc.*, **79**, 555, 1954; **80**, 8, 1955; **80**, 77, 1955.

BIBLIOGRAFIA

BUNYARD, E. A. «Old Garden Roses». Country Life, Londres. 1936.
SHEPHERD, R. E. «History of the Rose». The Macmillan Company, Nueva York. 1954.

Algunos problemas de filotaxia y determinación de la hoja

R. SNOW

El estudio de la disposición de las hojas en el tallo tiene no sólo interés intrínseco, sino que además puede arrojar abundante luz sobre el problema fundamental de la formación de las hojas. Las deducciones hechas a partir de observaciones de brotes ya desarrollados pueden ser engañosas. En este artículo, los problemas de filotaxia serán tratados partiendo de observaciones de ápices descubiertos del tallo y de secciones transversales de yemas. También se hace uso de los datos obtenidos en las operaciones realizadas sobre dichos ápices.

La hoja nace como rudimento o primordio, redondo o casi redondo, en la superficie de una zona estrecha, dispuesta en forma de anillo, debajo del ápice del tallo desnudo (Fig. 1). El ápice del tallo tiene generalmente forma paraboloide, más o menos empinada según las especies, pero la zona en la que nacen las hojas se aproxima a una superficie cónica. Las hojas nacen casi siempre en posiciones regulares, formando así un conjunto regular, sencillo en unas especies y complicado en otras. Evidentemente, uno de los problemas es determinar la causa de la emergencia de la hoja; un problema semejante plantea el crecimiento de las ramas laterales de diversos hongos y algas filamentosas. Otro problema es por qué las hojas nacen en posiciones regulares alrededor del ápice, puesto que estas posiciones no corresponden a diferenciación primaria alguna dentro del ápice. A este respecto, el origen de las hojas difiere del de las raíces laterales, que se originan bajo la superficie, en la parte exterior de las primitivas fibras de xilema. Se ha llegado incluso a decir que la posición de las hojas depende de las de aquellas fibras conductoras que las alimentan, o de ciertos precursores invisibles de dichas fibras. Sin embargo, las pruebas experimentales excluyen esto en las especies estudiadas [1]. El problema de las causas determinantes de la posición de las hojas está por resolver, ya que la regularidad de sus posiciones debería tener — como lo tienen otros fenómenos de diferenciación — una explicación racional. Pero el estudio de la disposición de las hojas también puede resultar un procedimiento útil, aunque indirecto, para abordar la cuestión fundamental del origen de las hojas.

La posición en que las hojas se forman en el ápice es el factor primario que determina la posición que ocuparán más tarde en el tallo principal; sin embargo, durante el crecimiento del tallo, sus posiciones relativas cambian con frecuencia de distintas maneras. Estos cambios secundarios tienen interés *per se*, pero plantean problemas completamente distintos del de la posición en que se forman las hojas. No obstante, el estudio de la filotaxia estuvo basado al principio en observaciones realizadas sobre brotes desarrollados; incluso ahora, las posiciones en que han nacido las hojas suelen a veces deducirse de observaciones de este tipo; con todo, éstas son extremadamente inseguras, a causa de los cambios que tienen lugar durante el crecimiento en longitud del tallo. En el presente trabajo, los problemas de la determinación y de la disposición primaria de las hojas se tratarán partiendo de la base de observaciones y experimentos hechos directamente con ápices de tallos descubiertos y de observaciones de secciones transversales de yemas, en los que las posiciones angulares de las nuevas hojas pueden medirse con mucha exactitud y además no han cambiado aún de modo apreciable.

Hay muchos tipos interesantes de filotaxia, pero aquí nos limitaremos a estudiar el tipo más común, la espiral, que es probablemente la que plantea las cuestiones más interesantes. Sin embargo, hemos de mencionar otras dos clases comunes. Una de ellas es el sistema dístico o de dos filas (Fig. 2), muy conocido en hierbas y en ciertas leguminosas comunes, incluyendo los guisantes y las habichuelas. En este sistema cada hoja sale individualmente opuesta a la anterior, de modo que las hojas forman dos filas opuestas, que aparecen radiales en las secciones de la yema y verticales en el brote desarrollado. El segundo tipo es el sistema decusado o cruzado (Fig. 3) que se encuentra, por ejemplo, en el fresno, en el castaño de Indias y en las Labiatae. En este sistema, las hojas salen de dos en dos, opuestas

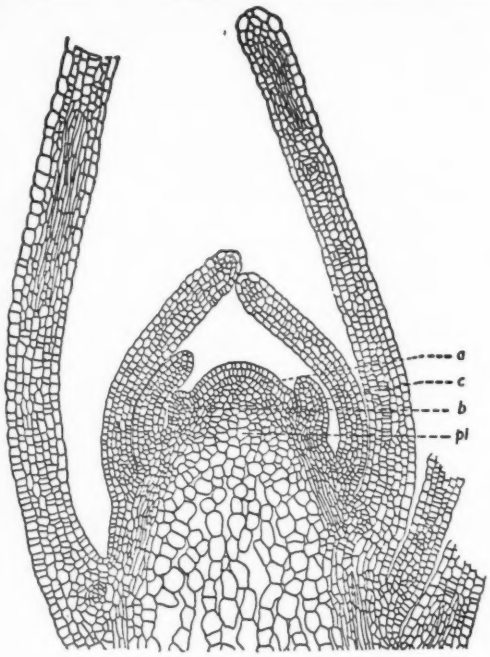


FIGURA 1 – *Sección longitudinal media del vértice de un tallo de* Linum, *mostrando varias etapas en la ontogenia de la hoja:* a, *sección de un primordio foliar muy joven;* b *y* c, *primordios más desarrollados, mostrando el temprano crecimiento de las fibras provasculares;* pi, *médula. (Según Crooks,* 1933.)

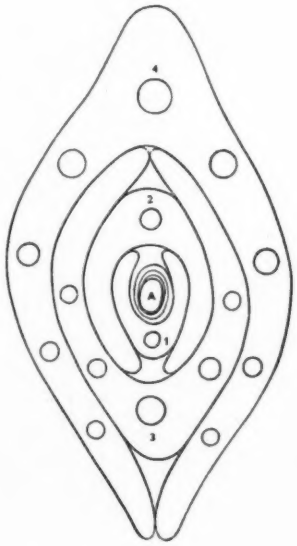


FIGURA 2 – *Corte transversal de una yema apical dística de* Bupleurum perfoliatum. A, *ápice;* 1 *a* 4, *hojas sucesivas. (Según van Iterson.)* (× 127)

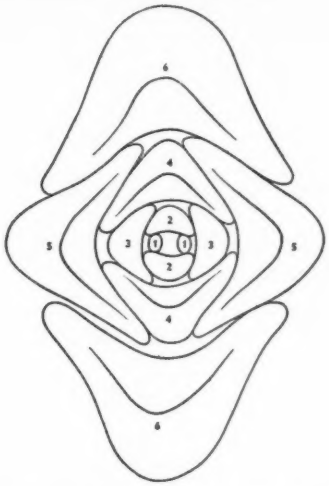


FIGURA 3 – *Sección transversal de una yema apical decusada de* Syringa vulgaris. 1, 1 *y* 2, 2, . . ., *pares sucesivos de hojas. (Según van Iterson.)* (× 45)

entre sí, y formando cruz con los pares contiguos, superior e inferior, de modo que existen cuatro hileras radiales.

La filotaxia espiral se encuentra en casi todas las fanerógamas, coníferas, en la mayoría de los helechos, en muchos licopodios y en la mayor parte de los musgos, aunque en éstos adopta una forma un tanto especial. La propiedad común a los sistemas espirales es que puede trazarse una espiral, llamada la espiral ontogenética o genética, por el centro de todas las hojas en su orden de sucesión, y que los ángulos entre los sucesivos centros de hoja son por lo general casi constantes.

Una diferencia patente entre los diversos sistemas espirales, que también es útil para su clasificación, es que en unos, las yemas contienen un pequeño número de hojas relativamente grandes alrededor del ápice, y en otros, un número mayor de hojas relativamente pequeñas (Figs. 4–6). El primer tipo se llama filotaxia «menor» y el segundo, filotaxia «mayor». Un medio de expresar esta diferencia con precisión es contar en las secciones transversales de las yemas los números de ciertas curvas, — llamadas parásticas o parásticas de contacto — que están formadas por las bases adyacentes de las hojas. Hay, generalmente, dos grupos de estas curvas, que se enrollan en direcciones opuestas en torno al ápice; pueden verse en las Figs. 4–6, especialmente en la 6. En algunas especies hay tres grupos de tales curvas (Figs. 9 y 10).

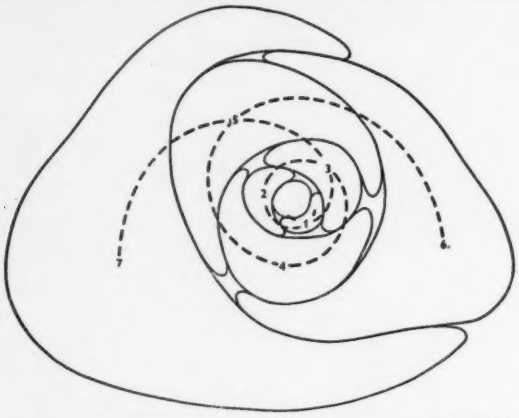


FIGURA 4 – *Corte transversal de una yema apical de* Bellis perennis. *Números parásticos o de contacto 1 y 2. Se ha dibujado la curva parástica simple y una curva del grupo de 2. Ambas curvas empiezan en la hoja 1. (Según van Iterson.)* (× 36)

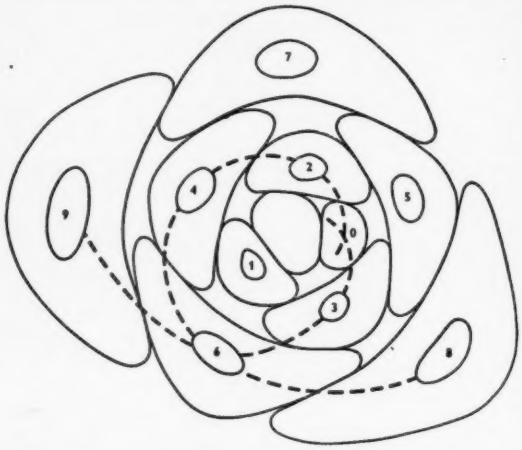


FIGURA 5 – *Corte transversal de una yema apical de* Jasminum fructicans. *Números parásticos o de contacto 2 y 3. Se ha dibujado una curva parástica de cada grupo, empezando en la hoja O. (Según van Iterson.)* (× 103)

Se ha visto que los números de dichas curvas de contacto, en las dos o tres series, son casi siempre los términos sucesivos de la serie 1, 2, 3, 5, 8, 13, . . .; ésta es la serie de Fibonacci, en la que cada término, a partir del tercero, es igual a la suma de los dos anteriores. Así, Fujita [2], examinando yemas vegetativas de 435 especies de angiospermas y 45 de gimnospermas con filotaxia espiral, encontró números de Fibonacci en los parásticos de todas ellas excepto en una angiosperma y en una gimnosperma. Los pares de números más comunes eran 2 : 3 y 3 : 5. En la filotaxia espiral mínima, un grupo parástico contiene sólo una curva, que es, por tanto, la misma que la espiral ontogenética (Fig. 4). Algunos de los números de Fibonacci más altos se encuentran en las grandes inflorescencias planas de los girasoles. En la Fig. 7 [3], puede verse una con parásticos 34 y 55.

Incluso cuando los números parásticos no siguen la serie de Fibonacci, forman parte de alguna otra serie, generalmente de las series subsidiarias 1, 3, 4, 7, 11, . . . (Figs. 8 y 9). Se conocen ejemplos de otras series como, por ejemplo, 1, 4, 5, 9, . . ., y 2, 5, 7, 12, . . . [4]. Estos hechos sorprendentes exigen una explicación.

En la práctica es a menudo más conveniente encontrar estos números por un método ligeramente diferente al descrito antes. Se numeran las hojas sucesivas en una sección de una yema a lo largo de una espiral ontogenética, y después se cuentan los intervalos, o plastócronos, medios entre la formación de cualquier hoja del ciclo superior y de las dos o tres adjacentes debajo de ella. Estos números se llaman números de contacto, o contactos, puesto que en las fanerógamas (aunque no en los helechos), las bases de hojas adyacentes están casi siempre en contacto en la yema. Equivalen a los números parásticos, siempre que haya suficientes hojas para formar curvas parásticas, y pueden encontrarse aún en caso de no darse esa condición. Richards [5, 6] ha propuesto otro

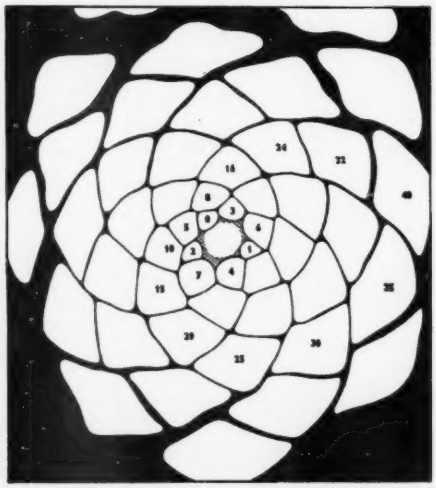


FIGURA 6 – *Corte transversal de una yema apical de una plántula de* Pinus pinea. *Números parásticos o de contacto 5 y 8. Las 8 hojas más jóvenes están numeradas; igualmente aquéllas que están a lo largo de un parástico de cada grupo, empezando con la hoja O. (Según Church, 1920.)*

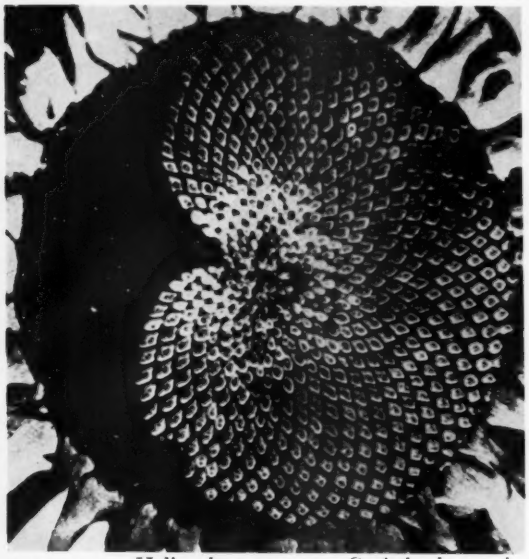


FIGURA 7 – Helianthus annuus. *Capítulo de esta inflorescencia tomado como modelo. Parásticos de contacto* (34 + 55); *los frutos se han arrancado en parte para mostrar la dirección de las curvas.* (*Según Church*, 1901.)

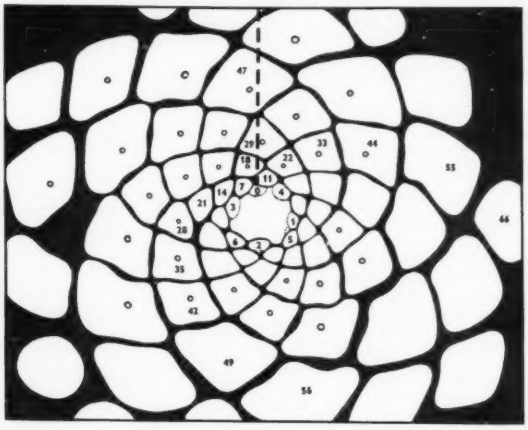


FIGURA 8 – *Yema terminal de una rama de* Araucaria excelsa. *Números parásticos o de contacto* 7 *y* 11. *Las hojas están numeradas a lo largo de un parástico de cada grupo. La línea trazada hacia fuera desde la hoja O está explicada en el texto.* (*Según Church*, 1920.)

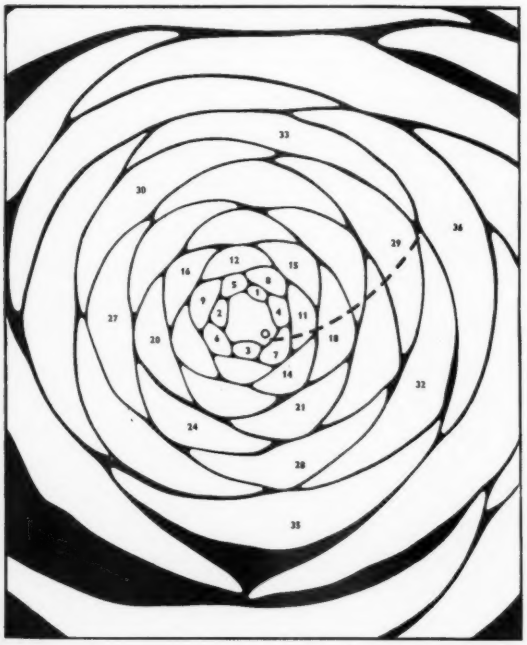


FIGURA 9 – *Yema apical de* Euphorbia biglaendulosa. *Números parásticos o de contacto* 3, 4 *y* 7. *Las hojas están numeradas a lo largo de un parástico de cada grupo. La línea curva se explica en el texto.* (*Según Church*, 1901.)

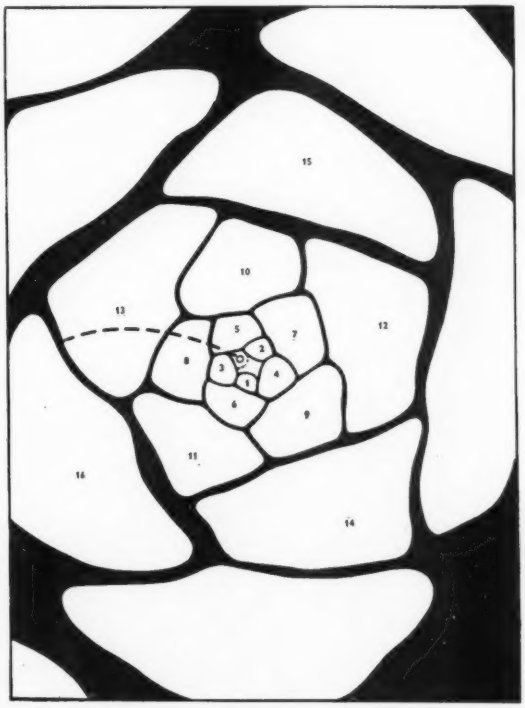


FIGURA 10 – *Yema apical de* Sedum acre. *Números parásticos o de contacto* 2, 3 *y* 5. *La línea curva está explicada en el texto.* (*Según Church*, 1901.)

método, menos sencillo pero de resultados más graduados, para clasificar los sistemas espirales según su mayor o menor rango de filotaxia. Los sistemas espirales superiores de Fibonacci se desarrollan gradualmente a partir de los sistemas inferiores. Los desarrollos más simples se dan en las plántulas de las dicotiledóneas; más adelante se describirán y discutirán algunos ejemplos.

ANGULOS DE DIVERGENCIA

El estudio de los ángulos de divergencia entre las hojas sucesivas en los sistemas espirales, ha puesto de manifiesto fenómenos igualmente notables; pero es necesario considerar primero la teoría de Schimper y Braun [7], que desgraciadamente ha retrasado durante 120 años el descubrimiento de la verdad. Esos autores sugirieron que los ángulos de divergencia son generalmente fracciones racionales de 360° y que, mientras en la filotaxia dística la divergencia es $\frac{1}{2}$, en la filotaxia espiral la divergencia fraccional es de ordinario un miembro posterior de la serie $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$, . . . De esto se seguiría que puede encontrarse una hoja exactamente arriba de otra, o con su centro en el mismo radio en las secciones gemales. Desgraciadamente, midieron los ángulos en tallos maduros, donde es muy difícil medirlos exactamente y donde muchas veces los ángulos originales han cambiado.

Sin embargo, las medidas de estos ángulos en secciones gemales con espirales de Fibonacci no confirman dicha regla. Los ángulos no forman grupos que se correspondan, ni siquiera aproximadamente, con las fracciones de Schimper y Braun, sino que se aproximan mucho al ángulo de Fibonacci, de 137° 30′ aproximadamente.

Esto se ve más claramente en otro valioso trabajo de Fujita [8], que midió con gran aproximación numerosos ángulos de divergencia, en secciones gemales de treinta especies de fanerógamas, con distintos números parásticos de Fibonacci. Ordinariamente medía de 100 a 500 ángulos en cada especie y anotaba las distribuciones de frecuencia de estos ángulos. Las distribuciones en todas las especies tienen picos muy acusados, con máximos a 137° o 138°. En una conífera con parásticos 3 y 4, perteneciente a la serie 1, 3, 4, 7, . . ., el máximo de la distribución de frecuencia era a 100°; en la yema de *Araucaria excelsa* [14] (Fig. 8), la media de cuarenta y siete ángulos es 99,8°. Ambos valores están muy cerca de 99° 30′ que es el ángulo límite de la correspondiente serie de fracciones. En otra conífera, de parásticos 2 y 5, pertenecientes a la serie aún menos frecuente 2, 5, 7, 12, . . ., Fujita [4] encontró el máximo a 151°, también muy próximo al valor límite de 151° 8′.

De estos sorprendentes resultados se sigue que, en los sistemas espirales, las hojas que ordinariamente se consideraban superpuestas, no lo están en realidad. Puede incluso verse fácilmente en cortes transversales de yemas espirales, que las líneas que pasan por los centros de tales hojas, líneas que forman los llamados ortósticos, no son rectas, sino que tienen una ligera curvatura regular en la misma dirección. Este es el mejor método para comprobar que, en las yemas, los ángulos de divergencia reales se desvían sistemáticamente de las fracciones de Schimper y Braun. Las únicas excepciones conocidas son varias especies de plantas crasas en las que, cuando los tallos desarrollan relieves verticales, éstos se prolongan hasta el ápice del tallo, y entonces causan la formación de hojas a lo largo de ellas [9]. Las espirales de Fibonacci no pueden clasificarse según sus ángulos de divergencia, ya que éstos son prácticamente los mismos en todas ellas, a excepción de los casos especiales.

Sin embargo, algunos autores han afirmado que en los tallos maduros de ciertas especies — aunque no de todas —, los ortósticos son más rectos que en las yemas, e incluso llegan a ser totalmente rectos. Tales afirmaciones son difíciles de comprobar, pero la explicación es probablemente [10] que las fibras conductoras se unen generalmente a lo largo de los ortósticos, que son al principio curvos, hélices en realidad. Más tarde, sin embargo, las fibras tienden a alargarse menos rápidamente que el resto del tallo, y así ofrecen una resistencia y se enderezan, con lo que tuercen el tallo, rectifican los ortósticos y hacen que los ángulos en el tallo maduro se aproximen a los valores de Schimper y Braun.

Aunque las mediciones de Fujita sobre los ángulos de divergencia son las más numerosas, varios investigadores anteriores habían publicado también mediciones de divergencia y otros datos que demuestran que los ángulos no están de acuerdo con los de la regla de Schimper y Braun [3, 11–14].

TEORIAS SOBRE LA DETERMINACION FOLIAR

Al tratar de interpretar los principales fenómenos hasta ahora citados, es preciso tomar alguna teoría sobre la determinación foliar como hipótesis de trabajo. Estas teorías pueden comprobarse por su concordancia con observaciones

sobre plantas que se desarrollan naturalmente y con los resultados experimentales hoy disponibles de operaciones sobre los ápices de tallos o sobre los primordios foliares más jóvenes.

Schimper y Braun supusieron que, a lo largo de la espiral ontogenética, se movía un cierto impulso formador de la hoja, pero es evidentísimo que la espiral ontogenética no tiene significación causal. Por ejemplo, en los capítulos de inflorescencia de las Compuestas, un lado puede cesar de crecer, de forma que la espiral ontogenética se pierde, pero la filotaxia todavía continúa bastante regularmente en el otro lado [15]. La espiral puede también invertirse experimentalmente [16, 21].

Una teoría muy diferente [3, 14] supuso que tales impulsos se movían centrífugamente a lo largo de dos grupos de curvas que se interseccionan arrollándose alrededor del ápice del tallo; estas curvas se continúan con los parásticos foliares situados más abajo y las nuevas hojas se forman en los puntos de intersección de las curvas [14].

Otra teoría [17, 18] supone que las influencias formadoras de hoja se desplazan de abajo a arriba, a lo largo de un grupo de hélices foliares, adentrándose en la zona apical donde se forman las hojas. Estas curvas son los parásticos de uno de los dos grupos que se interseccionan, al menos en los sistemas de filotaxia inferior de dicotiledóneas, donde se supone que son regularmente dos en número. En los sistemas superiores se supone que las hélices foliares se ramifican, pero en las dicotiledóneas dísticas no está clara su disposición. La elección de un solo grupo de parásticos es arbitraria, ya que no hay razón válida para tomar uno de los dos grupos que se interseccionan con preferencia al otro. Esto aparece claro sobre todo en los sistemas dísticos simétricos y en los decusados (Figs. 2 y 3), en los que los dos grupos son semejantes. Esta teoría hace muy difícil la explicación de la constancia de los ángulos de divergencia observada a lo largo de la espiral ontogenética, especialmente después de un cambio en el número de parásticos [6]. Porque después de dicho cambio, el ángulo entre las hojas sucesivas a lo largo de cada una de las hélices foliares, tendría que cambiar correspondientemente.

Las pruebas experimentales también van en contra de esta teoría. En muchas operaciones realizadas en ápices de dos especies que poseen espirales de Fibonacci, el helecho común y el *Lupinus albus*, por Wardlaw y M. y R. Snow respectivamente, no se ha encontrado nada que indique que la formación de la hoja esté ayudada en lo más mínimo por ninguna influencia derivada de las hojas existentes a lo largo de uno cualquiera de los grupos de parásticos. De existir esa influencia, varios de estos experimentos la habrían puesto de manifiesto. Por ejemplo, en el helecho común [19], los tres primordios foliares próximos a brotar, I_1, I_2 e I_3, se formaron normalmente, aun cuando sus supuestas áreas quedaron confinadas entre dos cortes radiales que aislaban cada una de ellas de los primordios más viejos de los dos parásticos intersecantes a que pertenecían. Más aun, I_2 no estaba todavía determinado en el momento de la operación [20].

En *Lupinus albus*, [21] se practicó un corte radial a través del área supuesta para I_1, aproximadamente por su plano mediano, extendiéndose bastante debajo de dicha área. En algunos casos una hoja recién determinada creció con su costado apoyado contra un lado del corte, — el costado anódico o ascendente en relación con la espiral ontogenética — y en otros, brotó adentrándose en sentido opuesto hacia el lado inferior del corte. En ambos tipos de resultados la nueva hoja debe haberse determinado cuando se encontraba totalmente separada de los miembros más viejos de su hélice foliar, sea cual fuese su supuesto grupo de parásticos.

Por otra parte Loiseau [22] dice haber eliminado una hélice foliar en plántulas de *Impatiens roylei*, que tiene las hojas en verticilos de tres, destruyendo por punción un primordio del verticilo más joven. En el 20% de las plántulas tratadas de esta forma, el número de hojas en cada verticilo se redujo a dos durante distintos períodos después de la operación. Es posible que estos resultados se deban a una disminución del cono apical, de forma que, después de la operación, no era lo suficientemente grande para dar nacimiento a tres primordios en cada verticilo, ya que en plantas más viejas los brotes normales débiles sólo tienen dos hojas por verticilo. El autor no ha proporcionado los datos microscópicos necesarios.

Sin embargo, la mayoría de las teorías sobre la determinación de las hojas están basadas en la regla de Hofmeister [23], según la cual cada nueva hoja nace en el espacio o depresión más grande entre las hojas ya existentes u otras formaciones que rodeen el ápice. La generalidad de esta regla ha sido plenamente confirmada [16, 20, 21, 24]. Existen algunas excepciones, por ejemplo en las plantas de formación verticilada después de una perturbación [25], pero en éstas parece ser que interviene un cierto factor adicional. La explicación de la regla de Hofmeister se ha buscado por dos caminos diferentes. En un grupo de teorías se

supone que la nueva hoja nace donde nace porque las influencias que inhiben o repelen el proceso de determinación de la hoja se extienden, tanto desde el vértice del ápice como desde los centros de los primordios foliares ya existentes. Se supone además que primero se forma el centro morfológico de una nueva hoja y después se forma a su alrededor el resto de la base de la hoja. En otra teoría se supone que para la determinación de una hoja se necesita un área libre mínima definida en el cono apical a una distancia mínima del ápice y que gracias al continuo crecimiento de todo el cono apical surgen sucesivamente las áreas libres necesarias en las depresiones entre las hojas existentes. Cada hoja estaría determinada como un todo sobre su área mínima o primaria [26, 16].

La primera de estas teorías, la teoría de la repulsión, es la más atrayente, por parecer más fisiológica y moderna; pero a nuestro parecer las pruebas experimentales apoyan la segunda [21]. Si se hacen dos cortes radiales verticales en el cono apical del *Lupinus albus* y de la *Euphorbia lathyris*, de modo que comprendan entre ellos la mayor parte — pero no la totalidad — del área mínima supuesta para I_2 (que es el primordio siguiente al que está próximo a nacer), entonces no nace primordio entre los cortes, y la zona abarcada por éstos permanece desnuda, aunque crece sana [27]. No obstante, si los centros de los primordios foliares estuvieran determinados previamente, habría determinado ya un centro entre los cortes, que formaría una hoja imperfecta a su alrededor. De nuevo, en once ápices de *Lupinus albus* se extirpó hasta su base [27], la parte central de P_1, el primordio más joven existente. Después de 14 días se seccionaron las yemas y se midieron los ángulos de divergencia. Las variaciones de ángulo fueron muy pequeñas en esta serie, y los primordios I_1, I_2 e I_3 que nacieron después de la operación estaban todos justamente en sus posiciones angulares normales (Fig. 11). Sin embargo, I_2 e I_3 no estaban determinados en el momento de la operación [21], y tocaban en sus bases a P_1, el primordio operado. Difícilmente podría encontrarse una contrastación más directa y simple de la teoría de que los primordios más jóvenes repelen a los siguientes; la respuesta aparece clarísima: en el *Lupinus albus*, al menos, no lo hacen así. Estos resultados chocan también con la hipótesis [17, 18] sobre la inducción de la hoja por hojas ya existentes.

Las afirmaciones de que la teoría de «la ocupación de los espacios libres» era vacía y puramente formal, han sido desmentidas en parte por el hallazgo reciente de que el área mínima para la determinación de la hoja está regulada por el vértice del ápice. Hoy día se ve con claridad que es preciso alcanzar una cierta área mínima para que se pueda superar la inhibición, originada en el ápice, que detiene el crecimiento de la hoja [28].

Sin embargo, sería demasiado esperar que ésta o cualquier otra teoría explicara completamente las varias clases de filotaxia en todas las especies. Además, la teoría de van Iterson no rige para especies en las que las bases foliares no son circulares, aunque las ideas fundamentales pueden extenderse a ellas. Tampoco se aplica, en su forma actual, a los helechos, en los que las bases foliares no están en contacto. Pero en este grupo hay ciertos indicios de que, poco después de nacer, cada base foliar se rodea a sí misma de un área mayor, de límites muy marcados, no disponible para la formación de otras hojas [27]. Hay que tener en cuenta similares posibilidades en cualquier sistema de filotaxia regular de otros grupos de plantas en los que las bases foliares pueden no estar en contacto. Tales sistemas parecen ser muy poco corrientes.

BOSQUEJO DE UNA INTERPRETACION DE LOS PRINCIPALES FENOMENOS DE FILOTAXIA

Provistos de una hipótesis de trabajo sobre la determinación de la hoja, podemos tratar de interpretar algunos de los principales fenómenos de la filotaxia; al mismo tiempo contrastaremos la hipótesis de trabajo. Las cuestiones a tratar son: cómo se forman las espirales de Fibonacci en ontogenía; cómo es que los números parásticos cambian repetidas veces a números más altos de la serie de Fibonacci o de otra serie a que pertenecen; y cómo es que los ángulos de divergencia están tan próximos al ángulo límite de la serie.

Según la teoría de van Iterson [26], las bases de las hojas nuevas son circulares, aparte de los casos especiales, cuando se observan desde una dirección perpendicular a la superficie en la que están insertadas. Desde estas bases, las hojas crecen al principio verticalmente, y las secciones horizontales por sus partes superiores presentan la tan conocida forma semilunar que se observa en las secciones de las yemas. Las bases de las hojas en filotaxia constante se supone que form n un sistema siempre semejante de círculos tangentes. La categoría de la filotaxia, medida por los números parásticos o de contacto, depende del arco de circunferencia cubierto por cada base de hoja nueva. Pero con algunos valores de estos

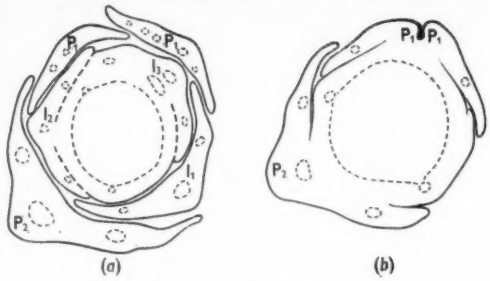


FIGURA 11 – *Corte transversal de una yema apical de* Lupinus albus, 14 *días después de extirpar la parte central del primordio foliar más joven,* P_1.

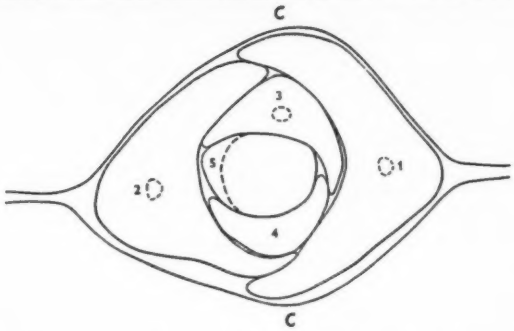


FIGURA 12 – *Yema apical de una plántula muy joven de* Lupinus albus. *Los cotiledones están marcados con una* C.

arcos son posibles dos o más diferentes pares de números, pertenecientes a distintas series, y la elección entre ellos depende de cómo se haya desarrollado el sistema.

Como ejemplo de desarrollo tomaremos el de una plántula de *Lupinus albus* (Fig. 12). Los cotiledones opuestos son seguidos por las hojas 1 y 2, en el plano transversal, opuestas pero desiguales. La hoja 2 es más pequeña y está insertada en el eje más alta que la 1, siendo, por lo tanto, más joven: está en contacto con la hoja 1 por ambos lados. Para comprender bien la posición de las hojas, se deben tener en cuenta su respectiva base circular. Si cada hoja está determinada en el primer espacio adecuado a una distancia suficiente debajo del vértice, entonces se puede imaginar su base como un disco circular plástico, enrollado parcialmente alrededor del cono apical y libre para deslizarse por la superficie oblicua por acción de la gravedad. Aparece por lo tanto claro que la hoja 2, enrollada alrededor de un arco de más de 180°, debe descansar simétricamente sobre ambos lados de la hoja 1, que también cubre más de 180°.

La hoja 3 abarca un arco más pequeño, demasiado pequeño para que su base descanse sobre ambos lados de la base de la hoja 2. Entonces, ¿cuál es para ella la posición más baja?, ¿a dónde podemos imaginar que desciende la base? No es frente a la hoja 2, ya que allí estaría directamente sobre la parte media y superior de la base de la hoja 1. Por el contrario, la posición que ocupa la hoja 3 está sobre un lado de la hoja 1 y de la hoja 2, y un tanto más próxima a la hoja 1, que está insertada más abajo. Así, la hoja 3 hace contacto con la 1 y con la 2. La hoja 4 nace por encima de los otros lados de las hojas 1 y 2, pero no puede nacer al mismo tiempo que la hoja 3, ya que el lado más próximo de ésta se extiende demasiado alrededor del ápice y no deja sitio para otra hoja en el mismo nivel. Así, la hoja 4 tiene que esperar hasta que pueda ocupar una posición ligeramente más alta, más próxima a la hoja 2, y con uno de sus lados por encima del lado de la hoja 3. Con la hoja 4 comienza la serie espiral, y el ápice está obligado a cumplir la serie de Fibonacci, ya que la hoja 4 hace contacto con la 1, 2 y 3.

Los arcos de las hojas siguientes no comienzan a ser mucho menores hasta inmediatamente antes de la floración, y los contactos, o bien siguen siendo 1, 2 y 3, ó, lo que sucede más a menudo, se hacen 2 y 3 solamente. Los primeros ángulos de divergencia en estas plántulas jóvenes oscilan alternativamente por encima y por debajo del ángulo de Fibonacci, al que se van aproximando gradualmente. Sobre estos mismos principios, basados en la teoría de «la ocupación de los espacios libres», puede explicarse fácilmente el curso del desarrollo en otras muchas plántulas, y también en yemas axilares, y en ápices de tallos después de ciertas operaciones. En efecto, esta teoría explica tan satisfactoriamente tantos fenómenos que cuanto más la aplicamos a la práctica, mayor confianza nos merece.

En muchas especies distintas del *Lupinus albus*, los arcos foliares continúan disminuyendo, y los números de contacto alcanzan valores más altos de la serie de Fibonacci. ¿Cómo pueden explicarse estos números? Las Figs. 13 y 14 contestan a esta pregunta. En la Fig. 13, que representa una sección transversal de una yema de un tallo joven de *Sempervivum calcaratum*, puede verse que la hoja joven o, la hoja más joven ilustrada distintamente, hace los contactos 2 y 3. De nuevo pensemos en un modelo imaginario en el que las bases circulares de las hojas jóvenes son discos plásticos capaces de deslizarse a lo largo de la superficie del

cono apical, y que la yema continúa creciendo. Si las hojas siguientes cubren arcos más pequeños, muy pronto, en nuestro modelo imaginario, la hoja correspondiente en edad a la hoja 0 de la Fig. 13, no descansará sobre los lados de las hojas que habrían de formar los contactos 2 y 3, puesto que todas esas hojas serán demasiado pequeñas. En lugar de eso, la hoja que estamos considerando se deslizará hacia abajo entre aquéllas que habrían de formar los contactos 2 y 3, y se apoyará, en cambio, en aquéllas que forman más abajo los contactos 3 y 5. Este cambio puede haber ocurrido en la hoja más joven siguiente y ha ocurrido ciertamente en la Fig. 14, que muestra una sección transversal de una yema de un tallo más viejo de la misma especie, en el que las hojas 2 y 3 se apoyan sobre los contactos 3 y 5. Igualmente puede verse en la Fig. 14 que si los arcos foliares disminuyeran todavía más, las hojas correspondientes se deslizarían a través del espacio entre los contactos 3 y 5, y se apoyarían sobre los contactos 5 y 8, como ha sucedido con la hoja 1. Una disminución del arco todavía más grande llevaría a los contactos 8 y 13, y así sucesivamente. El proceso está indicado en las Figs. 13 y 14 por las líneas rectas trazadas hacia fuera desde los centros de las hojas más jóvenes. Así, una disminución en el arco lleva a números de contacto más altos en la serie de Fibonacci, porque los centros de las hojas que difieren en edad por números de plastócronos iguales a los números sucesivos de la serie, están alternativamente a uno u otro lado del mismo radio. Esto puede verificarse, bien en secciones de yemas o bien en diagramas teóricos [5]. Lo mismo vale, en efecto, para sistemas de filotaxia que pertenecen a cualquier serie; un ejemplo de otra serie se indica por el radio a través de la hoja 0 en la Fig. 8. Así pues, cualesquiera que sean los pares de contactos con los que empieza un sistema espiral, los números de contacto ascenderán a lo largo de la serie construída desde el primer par, si los arcos foliares disminuyen suficientemente. El principio en que se basa esta explicación es aplicable a cualquier teoría de determinación basada en la regla de Hofmeister, y Richards [5] ha recalcado que, conforme aumenta el rango de la filotaxia, los espacios interfoliares se hacen más pequeños [5] y, por consiguiente, las nuevas hojas se localizarán cada vez con más precisión. Es digno de mención el hecho curioso

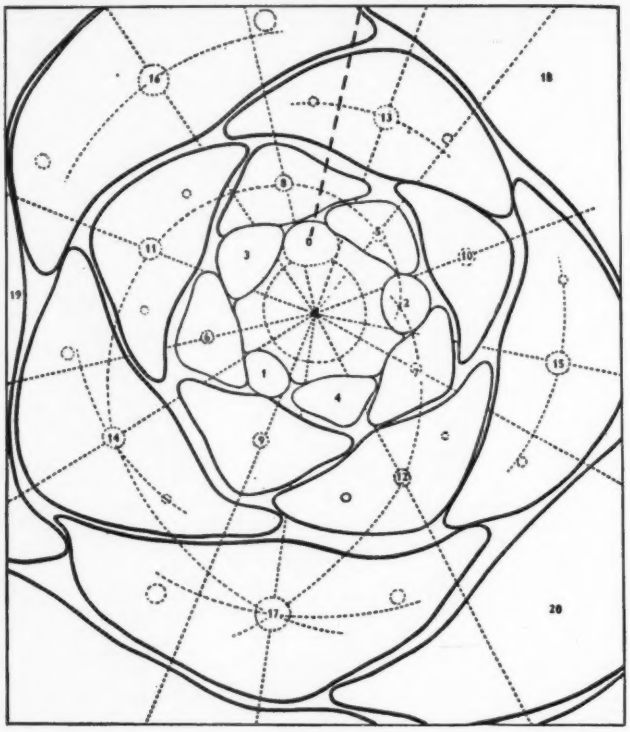


FIGURA 14 – *Yema apical de una planta más crecida de* Sempervivum calcaratum. (*Según Church*, 1920.)

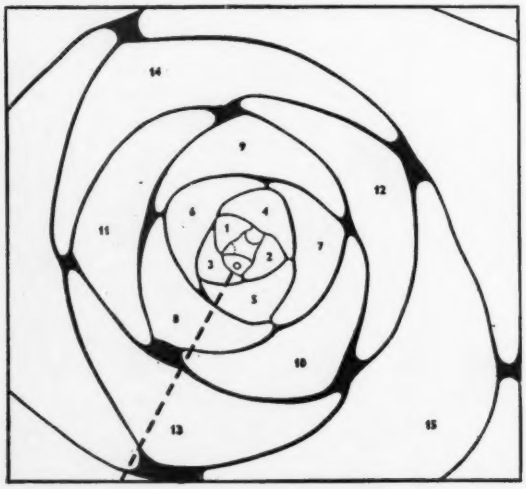


FIGURA 13 – *Yema apical de una planta joven de* Sempervivum calcaratum. (*Según Church*, 1901.)

de que, en yemas con contactos triples, las hojas cuyas diferencias en número son términos sucesivos de la serie pertinente, se encuentran a menudo, o quizá siempre, alternativamente a uno u otro lado de una curva empinada, en lugar de un radio. Esto puede verse en las líneas curvas trazadas hacia afuera desde la hoja o, en las Figs. 9 y 10.

La teoría de van Iterson llega casi a explicar también los valores medios de los ángulos de divergencia, pero queda una dificultad por resolver. Van Iterson ha demostrado geométricamente que, si se admiten sus postulados básicos en lo que se refiere a la forma de los ápices y de los primordios jóvenes, entonces, en un sistema regular de contacto de primordios, con un par cualquiera de números de contacto, el ángulo de divergencia debe estar dentro de un cierto campo. Este campo incluye siempre el ángulo límite por la serie a la que pertenecen los números de contacto del sistema, y es muy pequeño cuando estos números son medios o altos, 3 ó 5, por ejemplo, o números más altos de la serie de Fibonacci; y mayor, por el contrario, cuando los números de contacto son bajos. Según esta teoría, por lo tanto, se podría esperar que, cuando el rango de la filotaxia fuese bastante alto, los ángulos de divergencia medios estuviesen muy próximos al ángulo límite de la serie pertinente, pero que habrían de variar considerablemente en las diferentes especies, cuando aquél fuese muy bajo.

La dificultad está en que, aún en especies con contactos bajos, 1 y 2, los ángulos de divergencia medios son generalmente muy próximos al ángulo límite de Fibonacci cuando la filotaxia está plenamente establecida; aunque, según la teoría, el campo para tales ángulos es muy amplio, de 128° 34′ a 180°. De igual modo, en tres especies con contactos 1 y 2, estudiadas por Fujita [8], los máximos de distribución de frecuencia de los ángulos de divergencia están a 137° ó 138°, y son muy agudos. Van Iterson estudió esta dificultad y propuso una explicación un tanto difícil. Otra explicación es la siguiente: ciertamente es posible, con contactos 1 y 2, un campo amplio de ángulos, pero, según la teoría de van Iterson, dentro de este campo cada ángulo diferente está asociado con un diferente arco de hoja. Si, por lo tanto, el ángulo de Fibonacci tiene quizá alguna ventaja biológica, entonces la selección natural puede haber conducido a una gran aproximación a este ángulo, aún en especies con contactos 1 y 2, mediante la selección y fijación genética del correspondiente arco foliar.

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a la Chicago University Press y a los directores de la *Botanical Gazette*, su autorización para reproducir la Fig. 1, tomada de Crooks; a Gustav Fischer, por las Figs. 2 a 5, tomadas de van Iterson; y a Mrs. Grattan, por las Figs. 7–10, 13 y 14, tomadas de Church. Se han cambiado las notaciones de las figuras tomadas de Church, y las Figs. 9 y 10 han sido descritas de forma distinta.

REFERENCIAS

[1] SNOW, M. y SNOW, R. *New Phytol.*, **46**, 6, 1947.
[2] FUJITA, T. *Bot. Mag., Tokyo*, **52**, 425, 1938.
[3] CHURCH, A. H. «On the relation of phyllotaxis to mechanical laws». Williams y Norgate, Londres. 1901.
[4] FUJITA, T. *Bot. Mag., Tokyo*, **51**, 480, 1937.
[5] RICHARDS, F. J. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **2**, 217, 1948.
[6] *Idem. Phil. Trans.*, B, **235**, 509, 1951.
[7] SCHIMPER y BRAUN, 1835, resumen por MARTINS, C. H. y BRAVAIS, A. en los *Ann. Sci. nat.*, 2ª Serie, **8**, 161, 1837.
[8] FUJITA, T. *Bot. Mag., Tokyo*, **53**, 194, 1939.
[9] WEISSE, A. *Jb. wiss. Bot.*, **39**, 343, 1904.
[10] TEITZ, P. *Flora, Jena*, **71**, 419, 1888.
[11] BRAVAIS, L. y BRAVAIS, R. *Ann. Sci. nat.*, 2ª Serie, **7**, 42, 1837.
[12] HIRMER, M. *Planta*, **14**, 132, 1931.
[13] *Idem. Ber. dtsch. bot. Ges.*, **52**, 26, 1934.
[14] CHURCH, A. H. *Oxf. bot. Mem.*, Nº 6, 1920.
[15] FUJITA, T. *Jap. J. Bot.*, **12**, 1, 1942.
[16] SNOW, M. y SNOW, R. *Phil. Trans.*, B, **221**, 1, 1931,
[17] PLANTEFOL, L. *Ann. Sci. nat.*, 11ª Serie, **7**, 158. 1946, y **8**, 1, 1947.
[18] *Idem. Rev. gén. Bot.*, **54**, 49, 1947.
[19] WARDLAW, C. W. *Ann. Bot. Lond.*, NS, **14**, 447, 1950.
[20] *Idem. Ibid.*, **13**, 172, 1949.
[21] SNOW, M. y SNOW, R. *Phil. Trans.*, B, **222**, 353, 1933.
[22] LOISEAU, J. E. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **238**, 149 y 385, 1954.
[23] HOFMEISTER, W. «Allgemeine Morphologie der Gewächse», W. Engelmann, Leipzig. 1868.
[24] WARDLAW, C. W. *Growth*, Sympos., **9**, 93, 1949.
[25] SNOW, R. *New Phytol.*, **41**, 108, 1942.
[26] ITERSON, G. VAN. «Studien über Blattstellungen», G. Fischer, Iéna. 1907.
[27] SNOW, M. y SNOW, R. *Proc. roy. Soc.*, B, **139**, 545, 1952.
[28] *Idem. Ibid.* En prensa.

El germanio y sus aplicaciones

J. N. ALDINGTON y H. W. CUMMING

Entre los elementos raros, el germanio se ha destacado recientemente debido, en primer lugar, a sus aplicaciones como semiconductor en rectificadores y transistores y como un elemento corrector del color en los fósforos de lámparas de descarga. Son interesantes los procesos de purificación del metal y de producción de grandes cristales simples.

Hace quince años, a despecho de su amplia distribución en la corteza terrestre, el elemento germanio no era muy conocido en el mundo científico y nada entre el gran público. Hoy, a pesar de las dificultades anejas a su extracción y purificación, es uno de los más importantes entre los elementos raros.

Tres realizaciones han conducido a este cambio. La primera fué la producción de un rectificador de germanio capaz de resistir altos voltajes de realimentación; la segunda, las investigaciones en los Bell Telephone Laboratories que condujeron al desarrollo de un triodo de germanio (o transistor) capaz de funcionar como amplificador; la tercera fué la producción de compuestos de germanio con fluorescencia en la región del rojo intenso (carmesí) del espectro.

Históricamente, el descubrimiento del germanio tuvo considerable interés científico. En 1871, Mendeléef predijo la existencia de un metal del Grupo IV; le dió el nombre de eka-silicio y detalló sus principales propiedades. En 1886, Winkler descubrió el germanio en el mineral raro argirodita — una mezcla de sulfuros de plata y germanio que contiene aproximadamente 7% de éste —, encontrándose que poseía las propiedades del elemento cuya existencia había predicho Mendeléef.

No se ha descubierto ninguna fuente abundante en germanio a pesar de que, en asociación con otros minerales, los compuestos que contienen germanio están presentes en la corteza terrestre en la proporción de una parte por 150 000 aproximadamente. La fuente más abundante de este elemento en Gran Bretaña es el polvo de las chimeneas de las fábricas de gas. Ciertos carbones británicos contienen compuestos de germanio en pequeña cantidad y se ha encontrado que está presente en la proporción aproximada de 1% en peso en el polvo de retortas productoras de gas. El método de extracción a partir de estas sustancias consiste esencialmente en concentrar el germanio en forma de una aleación cobre-hierro-germanio y separarlo luego en forma de tetracloruro. Después de purificación por destilación fraccionada, el tetracloruro de germanio es descompuesto por el agua, y el dióxido resultante se reduce finalmente a metal por medio del hidrógeno [1]. Las más importantes propiedades físicas del elemento relacionadas con el presente estudio, figuran en la Tabla I.

Aparte de sus usos como un fósforo fluorescente rojo y como un semi-conductor, el germanio encuentra aplicaciones de menor importancia en odontología y en la producción de vidrios capaces de transmitir radiaciones infrarrojas.

TABLA I

Principales propiedades físicas del germanio

Peso atómico	72,6
Estructura electrónica	2 8 18 4
Punto de fusión	959°C
Densidad relativa	5,47
Resistividad eléctrica (intrínseca)	60 ohmios·cm
Movilidad electrónica	3600 cm^2/voltio-segundo

FOSFOROS QUE CONTIENEN GERMANIO

La lámpara de descarga eléctrica de mercurio de alta presión, en oposición a la lámpara fluorescente normal, de baja presión, ha llegado a adquirir considerable importancia como fuente de luz durante los 25 años transcurridos desde su introducción. La desventaja de su radiación dominante verde-amarillenta ha desaconsejado su aplicación cuando es deseable o necesaria la discriminación del color. Una adición eficaz de luz azul o, aún más importante, roja a la radiación primaria de mercurio ha sido siempre considerada objetivo importante en la investigación sobre las lámparas. Se han estudiado muchos métodos, adoptándose algunos con éxito variable. Una posibilidad particularmente importante reconocida ya en los días de la lámpara de Cooper-Hewitt, fué la de convertir por fluorescencia parte

de la radiación ultravioleta en luz roja. Fueron utilizados con este objeto el colorante orgánico rodamina y algunos de sus derivados, pero su eficacia inicial decaía por blanqueo bajo la irradiación ultravioleta. Durante muchos años se han utilizado lámparas que contenían fósforos de sulfuros inorgánicos con fluorescencia roja; el método general consiste en revestir con el fósforo el interior de una bombilla que contiene a su vez la lámpara de mercurio. Si bien puede obtenerse así un efecto útil, la cantidad de luz roja que puede añadirse es aún demasiado pequeña para corregir plenamente las deficiencias de la radiación de mercurio. Es preciso además que la bombilla exterior que lleva el fósforo sea muy amplia, ya que la eficacia de los fósforos de sulfuro declina a temperaturas superiores a unos 120°C.

Era pues urgentemente necesario un fósforo que permitiera operar eficazmente a temperaturas de varios cientos de grados centígrados y que pudiera convertir las radiaciones del mercurio de 2537Å y 3650Å de longitud de onda en luz carmesí. De los cientos de compuestos posibles investigados, fué finalmente utilizado un germanato de magnesio que tenía las propiedades requeridas [2]. Este compuesto de germanio se produce ahora comercialmente en grandes cantidades y constituye una nueva aplicación de este elemento. La Tabla II compara la distribución espectral de la luz de una lámpara de mercurio ordinaria con la de otra del mismo tipo pero cuyo color ha sido corregido por un fósforo de germanato de magnesio; con fines comparativos se dan también los datos correspondientes a una típica luz de día de un cénit azul con una temperatura de color equivalente de 13 700°K. La radiación incrementada es considerable, particularmente en las bandas 7 y 8; un pequeño incremento en la luminosidad de estas dos bandas tiene un marcado efecto sobre las características de discriminación de color de la radiación total.

TABLA II

Porcentaje de luminosidades espectrales de una lámpara ordinaria de mercurio, de otra también de mercurio de color corregido y de una típica luz diurna fría

Banda de onda (Ångströms)	*Porcentaje de luminosidad*		
	Mercurio sin corregir	*Color corregido*	*Luz de día*
1. 3800–4200	0,026	0,022	0,052
2. 4200–4400	0,67	0,54	0,38
3. 4400–4600	0,06	0,10	1,265
4. 4600–5100	0,72	0,96	13,85
5. 5100–5600	53	46,5	44,8
6. 5600–6100	44,4	46,5	31,8
7. 6100–6600	1,0	5,0	7,4
8. 6600–7600	0,13	0,43	0,45

Una aplicación más sutil de un compuesto semejante de germanio es su adición al polvo fluorescente normalmente utilizado en los tubos de fluorescencia de baja presión. En este tipo de lámparas, la descarga tiene lugar en vapor de mercurio a muy baja presión y la radiación primaria es emitida principalmente a las longitudes de onda de 1850Å y 2537Å. Así, la fuente actual de luz visible es, predominantemente, el polvo fluorescente que reviste interiormente la superficie del tubo de vidrio en el cual tiene lugar la descarga. El fósforo más comunmente empleado hoy está formado principalmente por un halo-fosfato de calcio a causa de su estabilidad y alta eficacia. El antimonio y manganeso están presentes como activadores, y variando las proporciones de estos dos elementos en el fósforo, el color de la luz emitida puede variarse del azul al naranja; mediante una selección conveniente en la proporción de los activadores puede obtenerse la luz blanca. La calidad de esta luz es conveniente para todas las aplicaciones comerciales, pudiendo obtenerse una gama de colores casi blancos. No obstante, algunos investigadores han buscado durante largo tiempo un fósforo capaz de producir una mayor proporción de luz carmesí que la obtenible con fósforos del grupo halo-fosfatos de calcio. Se ha encontrado que un germanato de magnesio, activado con manganeso, tiene las propiedades requeridas y que su adición a un conveniente halo-fosfato de calcio, en proporción aproximada de 10% en peso, permite obtener una discriminación mejor de alguno de los tonos difíciles. No solamente se ha mejorado la discriminación en el carmesí sino que hay una notable reducción en el efecto de las líneas de mercurio de 4047Å y 4358Å, las cuales, no obstante su baja intensidad, tienen un alto efecto cromático. Existen, por lo tanto, considerables posibilidades para la aplicación de los fósforos de germanio a los tubos fluorescentes hoy ya tan comunes.

EL GERMANIO COMO SEMICONDUCTOR

La creación hace quince años en la Purdue University de un rectificador de germanio de notables propiedades, y el anuncio por los Bell Telephone Laboratories, en 1948, de la invención de un amplificador a base de un cristal simple de

germanio han servido para acelerar el progreso en los accesorios que utilizan dicho metal y para abrir nuevos campos de investigación en los estudios físicos del estado sólido.

Los resultados de estos desarrollos pueden muy bien afectar el futuro todo de las telecomunicaciones. Por ello, es de general interés la comprensión de los principios básicos de la producción de semiconductores. Las propiedades y características físicas de los semiconductores han sido recientemente discutidas en ésta [3] y en otras revistas [4]. Si bien es cierto que otros materiales son asimismo objeto de estudio — particularmente el silicio y los compuestos intermetálicos de los Grupos III y V del sistema periódico — sin embargo, el germanio es el que ha estimulado el mayor interés y casi exclusivamente el material utilizado en los accesorios utilizados en el presente.

Entre estos accesorios en los que el germanio actúa de semiconductor están los rectificadores de punto de contacto policristalinos; los rectificadores de unión o diodos monocristalinos, los triodos de cristal simple para los cuales se ha adoptado el nombre de transistores; los tetrodos de cristal simple, los fototransistores cuya resistividad eléctrica cambia con la variación de la iluminación incidente, y los rectificadores de potencia para corrientes de cientos de amperios.

EL TRANSISTOR

El nombre transistor describe un aparato semiconductor que lleva tres electrodos externos: base, colector y emisor. Aunque no estrictamente análogos, estos electrodos pueden ser considerados, bajo ciertas condiciones, en parte equivalentes al cátodo, ánodo y rejilla de una válvula termoiónica. La aplicación de un voltaje entre base y colector produce el paso de una baja corriente y en esas circunstancias un cambio de corriente entre el emisor y la base origina un cambio proporcionalmente mayor en la corriente a través del colector.

Un transistor típico disipa algunos centenares de miliwatios en corrientes de pocos miliamperios. Es un aparato extremadamente pequeño en tamaño y peso, pero fuerte y parece tener una duración ilimitada. A diferencia de la válvula de amplificación, el consumo de fuerza auxiliar es notablemente reducido. Los aparatos de cristal son potencialmente convenientes para reemplazar todo tipo de válvulas. Particularmente para su incorporación a los proyectiles dirigidos, en las telecomunicaciones, los calculadores electrónicos y los aparatos electrónicos en general, los semiconductores adquieren cada día mayor importancia.

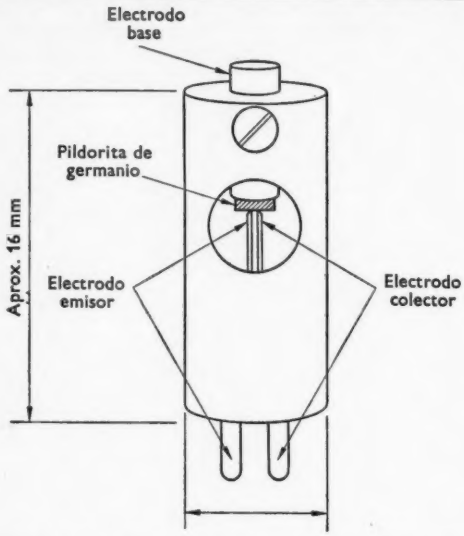


FIGURA 1 – *Diagrama de un transistor de punto de contacto.*

Los transistores son de dos tipos principales, comunmente llamados de punto de contacto [4] y de unión. En el último grupo hay varias divisiones [4–6]. El presente artículo trata esencialmente del primer tipo principal, aunque este ahora va siendo reemplazado por el segundo tipo. Consisten en una base de un cristal simple de germanio sobre cuya superficie están colocados, muy juntos entre sí, alambres afilados de bronce fosforado y cobre-berilio, que forman respectivamente el emisor y el colector. El sistema puede montarse por conveniencia en la forma que muestra la Fig. 1.

PREPARACION DE CRISTALES SIMPLES DE GERMANIO

Primeramente se prepara por métodos químicos ordinarios [1] el dióxido de germanio purísimo; el contenido de arsénico, en particular, debe ser reducido a menos de 0,05 partes por millón. El dióxido de germanio, contenido en vasijas o navecillas especiales de grafito, es reducido a metal por el hidrógeno. Cuando la reducción es completa se funde el germanio en un lingote de 9·1,5·0,75 cm.

Mediante un proceso denominado «refinado por zonas» se obtiene una ulterior purificación. En este proceso, la navecilla de carbono que contiene el lingote es conducida a la velocidad de unos 7 cm por hora a través de un tubo de cuarzo

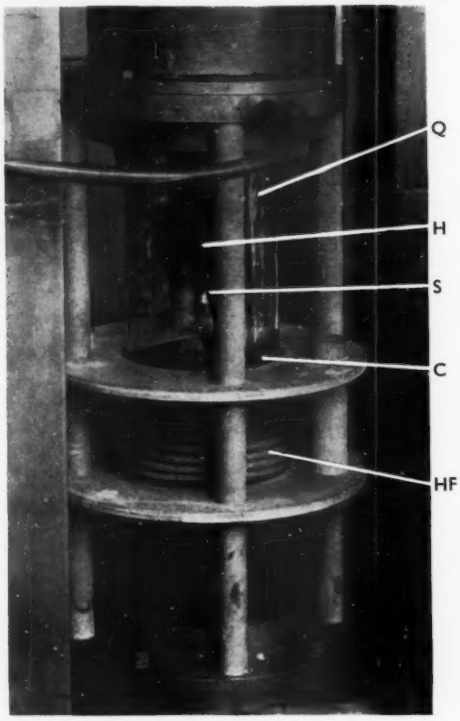


FIGURA 2 – *Aparatos para el crecimiento de grandes cristales simples de germanio.*

FIGURA 3 – *Un gran cristal simple de germanio.*

transparente, lleno de nitrógeno. Durante su paso atraviesa un campo eléctrico laminar de alta frecuencia, que forma un ángulo recto con la trayectoria de la navecilla. Por lo tanto, en todo instante, solamente una delgada sección del lingote de germanio es calentada a su punto de fusión, y, a medida que pasa el lingote a través de la zona caliente, la fase líquida se desplaza de un extremo a otro. Se ha encontrado que esta fase líquida arrastra hacia el extremo del lingote el conjunto de las impurezas residuales y mediante repetidos pasos del lingote a través del campo se obtiene una gran pureza. Con buen material inicial suelen ser suficientes tres pasos de la navecilla para obtener un lingote con el grado de pureza requerido; este se determina midiendo la resistividad eléctrica del lingote en diferentes puntos de su longitud. La Fig. 4 representa el resultado de una prueba típica con una barra de germanio refinado. Puede verse que unas tres cuartas partes del lingote tienen una resistividad del orden de 50 ohmios.cm, que indica el grado de pureza requerido. La parte menos pura de la barra, definida por su baja resistividad, es eliminada y utilizada la parte más pura en la próxima fase de la preparación de cristales simples. En este caso, la técnica empleada es semejante a la que se usa en la producción de grandes cristales de otros muchos elementos y compuestos: un cristal «de siembra» es sumergido parcialmente en germanio líquido a una temperatura próxima a su punto de fusión. El cristal crece al ser retirado gradualmente del fundido; toda la operación se lleva a cabo en una atmósfera inerte. La Fig. 2 muestra un aparato destinado a esta operación, desarrollado en nuestros laboratorios. Una carga conveniente del metal purificado, junto con una predeterminada adición de aleación germanio-antimonio, se pone en el crisol de carbono (C), sostenido en el interior de un cilindro de cuarzo (Q), en el cual se mantiene una atmósfera de nitrógeno. Un cristal de siembra (S), con la orientación conveniente, es encajado en el soporte (H) que puede girar, subir o bajar continuamente. La temperatura de la carga en fusión es entonces ajustada exactamente por encima del punto de fusión del germanio controlando la potencia de una inductancia de alta frecuencia (HF), y el extremo libre del cristal de siembra queda apenas sumergido. Retirando lentamente el cristal de siembra, se puede hacer crecer un

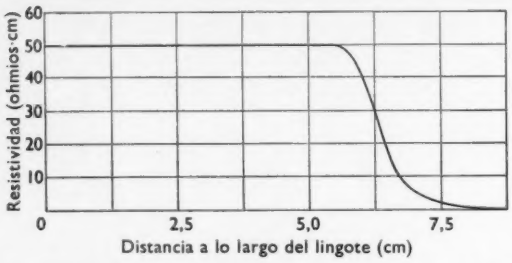


FIGURA 4 – *La distribución de las impurezas residuales en el lingote de germanio puede ser controlada midiendo la resistividad eléctrica.*

cristal simple de germanio puro. La Fig. 3 muestra un ejemplo típico.

En la práctica y con objeto de conseguir características exactas y siempre iguales, se usa germanio casi completamente purificado mediante el refinado por zonas y el crecimiento del cristal y entonces se añade una cantidad controlada de impurezas. El contenido en impurezas del cristal final es del orden de una parte en 10 millones.

PREPARACION DE CRISTALES PARA TRANSISTORES Y OTROS APARATOS

Después de asegurarse por las medidas hechas de que el cristal así desarrollado es satisfactorio, se corta en láminas de un milímetro de espesor aproximadamente en ángulo recto con el eje de crecimiento. La oblea de germanio es dividida por medio de una delgada rueda cortante, enfriada con agua, para producir una serie de pildoritas de germanio de forma cúbica aproximada.

En un método para montar transistores, la pildorita de germanio es soldada a una pequeña tapa cilíndrica de latón e inserta en una cubierta (Fig. 1). Se inserta entonces en el otro extremo de la cubierta un miembro aislador, que lleva los alambres colector y emisor ya curvados o doblados para que tengan cierta flexibilidad y exactamente colocados para que sus puntas en cincel estén de 5 a 8 milésimas de centímetro de distancia. Se hace avanzar la pildorita de germanio hasta que haga contacto con los dos alambres afilados y el conjunto queda entonces fijo en su posición final.

Sigue luego una operación de «formación», en

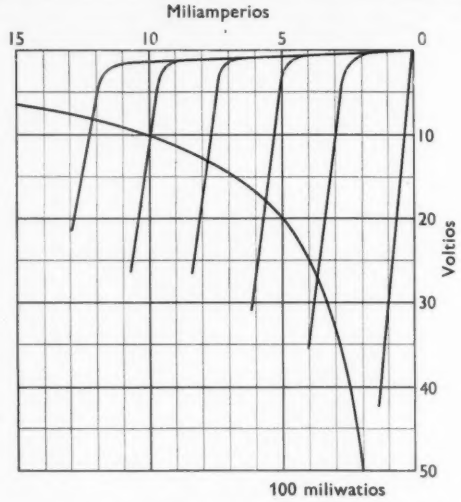


FIGURA 5 – *Características de un transistor de punto de contacto Siemens.*

la cual pasan entre el alambre de bronce fosforado y la pildorita de germanio un número de descargas de un condensador de un microfaradio cargado a 500 voltios. Con el alambre de cobre-berilio no tiene lugar ninguna «formación». Después de cada descarga del condensador se observan las características del transistor y la operación de «formación» se continúa hasta obtener el resultado deseado. A continuación el cuerpo del transistor se llena con una resina adecuada para protegerle de los trastornos mecánicos y de la corrosión atmosférica.

En la Fig. 5 se ve una familia típica de curvas de un transistor de punto de contacto Siemens aplicado en interruptores. Aquí los voltios del colector van representados en ordenadas mientras las corrientes del colector lo son en abscisas; las líneas de la derecha corresponden a corrientes de emisor de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 miliamperios respectivamente. Puede verse, por ejemplo, que si se aplican al colector 20 voltios un cambio en la corriente del emisor de 0 a 1 miliamperios produce un cambio de corriente en el colector de 0,8–3,4 miliamperios, es decir que el factor de amplificación es justamente de 2,5.

REFERENCIAS

[1] POWELL, A. R., LEVER, F. M., y WALPOLE, R. E. *J. appl. Chem.*, **1**, 541, 1951.
[2] THORINGTON, L. *J. opt. Soc. Amer.*, **40**, 579, 1950.
[3] DARROW, K. K. *Endeavour*, **13**, 101, 1954.
[4] SHOCKLEY, W. «Electrons and Holes in Semiconductors». D. Van Nostrand Co. Inc., Nueva York. 1950.
[5] PANKOVE, J. I. *R.C.A. Rev.*, **15**, 75, 1954.
[6] BRADLEY, W. E. *Proc. Inst. Radio Engrs, N.Y.*, **41**, 1702, 1953.

Las sustancias de crecimiento y el desarrollo de las plantas

L. J. AUDUS

Desde largo tiempo sabemos que cantidades muy pequeñas de ciertas sustancias específicas, aparte de los factores nutritivos, tienen efecto en el crecimiento de las plantas; y algunas de dichas sustancias se han identificado químicamente. El gran número de activadores de crecimiento, y los variados efectos de uno cualquiera de ellos son origen de confusión todavía. Clarifica este problema el estudio de la acción en etapas sucesivas de la evolución de la planta desde sus comienzos hasta la madurez, haciendo posible la aplicación práctica de algunas sustancias sintéticas de crecimiento.

Duhamel de Monceau [1] supuso hace unos doscientos años que el efecto del desarrollo de un órgano sobre el de otro se debía a corrientes de savia que circulan en direcciones opuestas. Desde entonces, poco a poco ha ido ganando terreno la noción de que los activadores químicos controlan el desarrollo, si bien en general ha gozado por algún tiempo de mayor favor entre los botánicos experimentalistas la opinión contraria en pro de los factores puramente nutritivos. Finalmente, hacia 1930, el descubrimiento de los efectos variados y de gran envergadura del ácido β-indolilacético anunció la llegada de la era presente, en que dicha sustancia y sus homólogas han dominado todos los estudios y experimentos sobre el desarrollo vegetal en todos sus aspectos.

Sin embargo, existen muchas clases de sustancias de crecimiento vegetal, diferenciadas, en parte, por su naturaleza química y, en parte, por el modo en que afectan el desarrollo de la planta. Como una misma sustancia es capaz de producir reacciones de crecimiento muy distintas, y una misma reacción de crecimiento puede tener por origen sustancias que difieren mucho en constitución química, resulta harto complicado el problema de su clasificación y nomenclatura. Es recomendable el agrupamiento siguiente:

1. Sustancias de crecimiento que son co-factores de sistemas enzímicos conocidos. En esta categoría se catalogan las vitaminas que poseen características hormónicas bien establecidas.

2. Sustancias de crecimiento de estructura química conocida, pero de significado bioquímico desconocido. Entre ellas encontramos las auxinas [2]. Entre sus muchas actividades de crecimiento, la que las caracteriza es la promoción de crecimiento en extensión del tejido del tallo.

3. Sustancias de crecimiento de cuya existencia hay marcados indicios según pruebas indirectas, pero que hasta el presente han eludido el aislamiento y la identificación química. Pertenecen a este grupo las hormonas de floración, «florígeno» y «vernalina», y los factores específicos de determinación de los órganos o «calinas».

4. Inhibidores de crecimiento producidos naturalmente.

LA SEMILLA

La formación de la semilla empieza cuando se fusiona el elemento masculino del polen con los núcleos femeninos de los primordios seminales (óvulos) en el órgano femenino (ovario) de la flor. El embrión joven de la planta se desarrolla a partir de la fusión de un núcleo masculino y un núcleo femenino. Simultáneamente, crece alrededor del embrión una masa de tejido no diferenciado, el endosperma, que llena el resto de la semilla joven, y se ha formado de la fusión de un núcleo masculino con dos núcleos femeninos. El embrión, que muy temprano se diferencia en raíz, tallo y hojas, no posee un complemento íntegro de sistemas enzímicos. No puede, por ejemplo, sintetizar de los azúcares y alimentos inorgánicos todas sus vitaminas, debiéndolas proveer, en consecuencia, los tejidos de la planta progenitora. Estas facultades de sintetización se adquieren sólo muy despacio, a medida que se desarrolla el embrión. Se ha comprobado esto cortando embriones de la semilla joven en varias etapas de desarrollo y estudiando las necesidades sentidas de su factor de desarrollo en un medio estéril de cultivo [3]. Las vitaminas más importantes que es preciso suministrar son: tiamina, ácido nicotínico,

piridoxina, ácido pantoténico, inositol, riboflavina, ácido *p*-amino-benzoico y biotina. Más tarde se desarrolla la capacidad de sintetizar estas vitaminas; sin embargo, algunos órganos, principalmente las raíces, pueden no adquirirla nunca, haciéndose, por tanto, indispensable un constante abastecimiento desde las partes aéreas de la planta.

Pero estos conocidos co-factores no constituyen las únicas sustancias de crecimiento que proporcionan los tejidos circundantes. Los embriones extractados no consiguen a veces crecer, aún en un medio de cultivo que contenga todas las vitaminas reconocidas como esenciales; sin embargo, cabe que lo consigan si se les proporciona extractos de tejido endospérmico. Se ha comprobado que la leche de coco, que es virtualmente endosperma líquido, es una fuente ideal de esos factores desconocidos. Hay indicios de que están presentes, por lo menos, dos sustancias: una que controla la multiplicación de las células, y otra que actúa como factor coordinante en el desarrollo del órgano. Se han aislado algunos de estos factores, pero no se conoce en detalle su constitución química.

Quedan por dilucidar todavía muchos problemas acerca del desarrollo de la plántula. Es un misterio por qué las hojas de la semilla (los cotiledones) alcanzan un tamaño tan desmesurado si se compara con el de la raíz y tallo embriónicos; con toda probabilidad interviene una sustancia coordenadora del crecimiento. También es un arcano todavía por qué el embrión, después de alcanzar un cierto tamaño limitado, deja de crecer y entra en un estado de letargo. Tan sólo en muy pocas plantas, continúa desarrollándose el embrión, y la semilla germina sobre la planta, sin un período de descanso. Probablemente la acumulación de un inhibidor impone esta interrupción en el crecimiento del embrión. No hay lugar a duda de que el tegumento de la semilla y la carne de muchos frutos contienen sustancias químicas que impiden la subsiguiente germinación de la semilla madura [4]. La presencia de semejantes inhibidores en la parte carnosa del fruto retarda probablemente la germinación de la semilla hasta que el fruto se ha desprendido de la planta y se han liberado las semillas. La lluvia puede lixiviar simplemente los inhibidores de la cubierta de la semilla, o tal vez, para su destrucción son indispensables condiciones externas especiales.

Pero este período vegetativo del embrión no supone necesariamente inactividad, ya que tal vez tienen lugar muchos cambios fundamentales. Numerosas semillas, por ejemplo, necesitan un período de letargo, en particulares condiciones ambientales que varían según las especies (*v.g.*: temperaturas bajas para la manzana) antes de que germinen. Esto puede relacionarse con la destrucción de un inhibidor de la germinación o con cambios de «maduración» en las células embrionales. Es posible que estos cambios determinen en gran parte el subsiguiente comportamiento evolucionario de la plántula. Así, las semillas de variedades de invierno de cereales de zona templada, si se siembran en primavera no darán flor ni semilla en dicha estación. Tales semillas necesitan cierto período mínimo de exposición a una temperatura próxima al punto de congelación, con objeto de producir en el embrión una condición favorable para una floración rápida cuando se desarrolla la planta. Es posible invertir este proceso de «vernalización» por medio de la posterior exposición a una temperatura elevada [5], a condición de que se aplique dentro de un cierto período. La explicación más probable es que los tratamientos térmicos afectan la concentración en el embrión de una hormona promotora de la floración, favoreciendo las temperaturas bajas su acumulación, mientras que las elevadas la destruyen. No se ha aislado todavía este supuesto factor de floración, al que, con todo, se le ha dado el nombre de «vernalina» [6].

LA PLANTULA

La semilla empezará a germinar cuando haya madurado y sean óptimas las condiciones externas de luz, temperatura y humedad. Esto trae consigo la reasunción de actividad bioquímica, en la cual los hidratos de carbono y las proteínas de reserva se hidrolizan y pasan al embrión los productos móviles para la síntesis necesaria para el crecimiento. La raíz y el tallo empiezan a alargarse y fuerzan su salida respectiva a través del tegumento de la semilla hacia el substrato. Este alargamiento está controlado por el grupo de sustancias de crecimiento de la planta conocidas con el nombre de auxinas, cuyo representante natural de más importancia, y tal vez el único, es el ácido β-indolilacético. Lo producen los puntos de crecimiento apical, donde tiene lugar activamente la división celular. Por lo general se admite que se produce por desaminación oxidativa y descarboxilación a partir del amino-ácido triptófano tomado de las proteínas de reserva de la semilla. Recientemente se han identificado en extractos de plantas otros muchos compuestos indólicos

FIGURA 1 – *Formación de la flor en el ananás Cabezona 7 semanas después de tratar una planta de 2 años con ácido α-naftilacético a una concentración de 10/1 000 000. (Por cortesía del Dr. J. van Overbeek.)*

FIGURA 2 – *Extirpador de malas hierbas selectivo empleado para la destrucción de la mostaza silvestre en la avena. Se aplicó 2,4-D a la parcela superior derecha en el mes de mayo: la fotografía fué tomada en julio. La parte inferior de la parcela no fué tratada.*

que inducen reacciones auxínicas al aplicarlos externamente a órganos de plantas de ensayo. Entre ellos encontramos el β-indolilacetonitrilo, β-indolilacetaldeido y el ácido β-indolilpirúvico. Es posible que los dos últimos sean intermediarios en el metabolismo del ácido β-indolilacético. Por sí mismos, el β-indolilacetonitrilo y el β-indolilacetaldeido no inducen probablemente actividad auxínica, pero las enzimas de las células en desarrollo los convierten rápidamente en ácido β-indolilacético. Es posible que el nitrilo desempeñe un papel importante como reserva inactiva de potencial auxínico [7].

Aunque está bien comprobada la regulación de la expansión del tallo por las auxinas, el proceso que tiene lugar en las raíces es aún muy oscuro. El alargamiento de la raíz queda impedido por las concentraciones de auxina que favorecen el desarrollo del tallo. Por otra parte, las concentraciones muy bajas (1 parte en 10^{11}) que estimulan el crecimiento de la raíz, no producen efecto alguno sobre los tallos. La cuestión se complica más y más por el hecho de que los homólogos del ácido β-indolilacético, que antagonizan su acción en tallos y raíces, pueden a su vez promover el desarrollo de la raíz si se utilizan en bajas concentraciones [8].

FIGURA 3 – *Efectos antigeotrópicos en plántulas de colza* (Brassica napus) (*arriba*) *y de raygrás* (Lolium perenne) (*abajo*), *con sus testigos* (*izquierda*), *mostrando la influencia de un compuesto activo* (*derecha*). (J. Sci. Food Agric., 5, 32, 1954.)

FIGURA 4 – *Secciones de tomates que muestran la estructura del fruto. Centro: tomates normales con semilla. Izquierda: tomates tratados con ácido α-naftilacético. Fruto de alta calidad con pulpa bien desarrollada, pero sin semillas. Derecha: tomates tratados con ácido 2,4-diclorofenoxiacético. Fruto de calidad baja, con pulpa muy poco desarrollada y carne fofa. (Por cortesía del Director de Long Ashton Research Station.)*

FIGURA 5 – *La florescencia de la habichuela se fomenta por tratamiento con ácido 2,3,5-tri-yodobenzoico (A.T.Y.B.). Izquierda: Testigo (yema apical extirpada con la mano, ya que la destruye el A.T.Y.B.). Derecha: Planta regada todos los días con A.T.Y.B. (40 ml de una solución al 50/1 000 000). (Por cortesía del Dr. C. J. Gorter, del Laboratorio de Horticultura, Universidad de Agricultura del Estado, Wageningen, Holanda.)*

FIGURA 6 – *El carbamato de isopropilfenilo se emplea para impedir que las patatas echen brotes. Izquierda: ejemplares testigo. Derecha: Patatas tratadas con C.I.P.F. al comienzo de un período de almacenaje de 226 días.*

Existen numerosos compuestos sintéticos, semejantes al ácido β-indolilacético en estructura química, que son sumamente activos como auxinas. Difieren de las auxinas naturales por su extraordinaria toxicidad para las plantas si se les aplica en exceso, por pequeño que éste sea. Además, las mínimas concentraciones que producen esta toxicidad varían grandemente de unas especies vegetales a otras, lo que permite el empleo, eficaz en extremo, de estos compuestos como extirpadores selectivos de malas hierbas. El ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el 2-metil,4-clorofenoxiacético (Fig. 2) son dos de dichos compuestos, de empleo general en todo el mundo.

La plántula, al establecerse, reacciona con gran sensibilidad a los estímulos de la luz y la gravedad. El sistema de desarrollo de la raíz se extiende en aquellas direcciones donde pueda encontrar el máximo volumen de tierra, y el tallo, a su vez, se dirige hacia donde reciba la iluminación óptima para la asimilación del carbono. No hay duda de que las auxinas desempeñan un papel central en este comportamiento. Así, una iluminación desigual de los órganos sensitivos da lugar a diferencias espaciales en la concentración auxínica. El crecimiento diferencial resultante ocasiona curvaturas en el órgano respectivo y, por tanto, una reorientación hacia el manantial de luz. Se conoce tan sólo en parte la causa fundamental de esta nueva distribución de auxina. Hay pruebas convincentes de que el ácido β-indolilacético está sometido a una foto-oxidación en la que la riboflavina actúa como sensibilizador, pero la complejidad de reacción ante las distintas intensidades de luz demuestra que aquélla no puede ser el único factor que interviene. La reacción geotrópica se ha atribuído también a una redistribución de auxina. Existen pruebas directas de que la auxina se acumula en la porción inferior de los tallos dispuestos horizontalmente, y estimula de este modo el desarrollo de su mitad inferior y da lugar a una reorientación del tallo hacia la posición vertical. En las raíces colocadas horizontalmente la misma acumulación en la parte inferior parece inhibir allí el desarrollo, ocasionando, en consecuencia, una tendencia geotrópica. La prueba experimental de ello es mucho menos convincente, especialmente en vista de la incertidumbre de la función de las auxinas en el desarrollo de la raíz. En algunos órganos, por ejemplo en los tallos subterráneos que se desarrollan horizontalmente y a un nivel constante por debajo de la superficie del suelo, es posible que intervengan por lo menos dos hormonas diferentes, cuya distribución mantiene este ajuste [9, 10].

Recientemente se han descubierto ciertos compuestos que desordenan el mecanismo geotrópico positivo de la raíz, alterando probablemente el sistema natural hormónico (Fig. 3). Existen buenos augurios de que el empleo de compuestos semejantes pueda impedir el establecimiento de las raíces de las malas hierbas [11].

Factores de crecimiento, aparte de las auxinas, parecen representar un papel en el desarrollo de las hojas. La oscuridad da lugar a que la plántula crezca alta y delgada, resultado por lo común atribuído a un mayor contenido auxínico, mientras que las mismas condiciones ambientales entorpecen la expansión de las hojas. Se ha demostrado que la adenina promueve el desarrollo del limbo de las hojas; esta base orgánica es un componente esencial de las proteínas nucleares y de muchas coenzimas importantes relacionadas con el abastecimiento de energía metabólica. Sin embargo, son las auxinas, las que aparentemente promueven la extensión de los nervios de la hoja. No es de extrañar, pues, que la aplicación de auxinas sintéticas, que en modo alguno han metabolizado los tejidos de la planta, pueda alterar el equilibrio de las necesidades de factores de desarrollo y dar lugar a notabilísimos cambios en la forma de la hoja. En efecto, es posible que auxinas activas y estables como el ácido 2,4-diclorofenoxiacético inhiban notablemente la expansión del limbo y originen una gran variedad de deformidades.

LA PLANTA EN DESARROLLO

A medida que la planta aumenta de tamaño, van apareciendo nuevos órganos y acaba por adoptar la forma característica de la planta adulta. En las partes aéreas de muchas plantas la forma será, en gran manera, resultado del número y posición de las ramas laterales que emergen de las yemas situadas en las axilas de las hojas. El crecimiento inicial y, en consecuencia, el desarrollo posterior de esas yemas laterales queda cortado por la yema terminal del tallo o rama principales. El tipo de desarrollo que sobreviene depende principalmente del comportamiento y suerte de esta yema terminal. Este fenómeno del predominio apical ejerce marcada influencia en la determinación de la forma de la mayoría de las plantas. Muchos han sostenido por largo tiempo que la auxina producida por la yema apical es el elemento mediador en este fenómeno de correlación, y pasa desde el centro de producción a los

puntos laterales que entonces quedan inhibidos. Otros investigadores dan como supuesta la existencia de un inhibidor especial cuya producción está relacionada con las concentraciones auxínicas. Se han extraído recientemente de las plantas, sin que se haya llegado todavía a identificarlos, inhibidores de crecimiento no auxínicos que presentan algunas propiedades fisiológicas de esta sustancia teórica. Por otra parte, cuando se rocía las plantas con una solución de hidrázida maleica, un inhibidor sintético de crecimiento, se puede destruir el predominio del ápice y permitir, en cambio, el desarrollo de las yemas laterales. Esto sugiere una diferencia real en la sensibilidad de las distintas yemas a las sustancias de crecimiento, lo cual puede influir notablemente en el comportamiento correlativo. Sin embargo, en el lino, por lo menos [12], la rivalidad por un elemento nutritivo (el nitrógeno) puede ejercer un papel decisivo en la determinación del predominio del ápice. Las auxinas sintéticas (el éster metílico del ácido α-naftilacético) y los inhibidores de crecimiento, como hidrázida maleica y el carbamato de *iso*propilfenilo, vienen empleándose para la supresión del crecimiento de las yemas en los vegetales almacenados, patata, zanahoria, cebolla (Fig. 6).

Sin género de duda, las auxinas influyen en la formación de raíces laterales, toda vez que es posible estimularla mediante la aplicación externa de dichas sustancias. Una aplicación práctica muy importante de este fenómeno se basa en que fomenta la formación de raíz en las estacas destinadas a la propagación de la planta. Tenemos muchas pruebas indirectas de la participación de otros factores en la génesis natural de la raíz; uno de ellos es la hipotética «rizocalina» que procede de los tallos. En vista de las complejas exigencias vitamínicas que presentan los trozos de raíz que se desarrollan en un medio artificial que contenga azúcares, resulta muy posible que esta «rizocalina» sea una vitamina.

En plantas leñosas perennes el desarrollo en diámetro de los tallos se produce gracias a la actividad de una capa de células especiales (cámbium) situada entre el líber y el leño. Esta actividad de crecimiento es mayor en primavera y declina en verano, y ello explica la formación de anillos anuales en los árboles que crecen en climas templados. Este ritmo está correlacionado exactamente con la producción de auxina en las yemas jóvenes en primavera, época en que desciende desde las yemas por la membrana celular del cámbium, iniciando y promoviendo su actividad de crecimiento. Hay, además, involucrados otros factores, ya que esas células no reaccionan a la aplicación de auxinas durante el invierno al encontrarse en estado vegetativo. Hay que despertarlas primeramente de su letargo (por ejemplo, mediante el tratamiento con etileno) antes que las células sean capaces de reaccionar. A esas mismas células se debe la producción de tejido (callosidades) para proteger las heridas en los árboles. Se ha afirmado en algunas ocasiones que ciertas hormonas especiales de las heridas (ejemplo: el ácido traumático:

$$COOH.CH{:}CH.(CH_2)_8.COOH),$$

producidas por las células dañadas constituían los factores determinantes de la traumatomorfosis.

REPRODUCCION

En las plantas superiores, el paso a la fase reproductiva, durante la que algunos de los puntos de crecimiento cambian el curso de su desarrollo para producir primordios florales en lugar de foliares, se determina en gran manera por el advenimiento de días de determinada duración y por determinadas condiciones previas de temperatura. Tenemos pruebas de que interviene una hormona de florescencia [13]. La «percepción» de la duración adecuada del día la realizan las hojas que, bajo óptimas longitudes diurnas y nocturnas, originan una cierta especie de influencia que pasa desde ellas a los puntos de crecimiento y produce el cambio del estado vegetativo al de florescencia. Esta influencia pasa a los injertos, lo que hace suponer que está causada por una sustancia química. Por otro lado, no se difundirá a través de una barrera acuosa que separe los dos elementos de dicho injerto, y ello hace suponer que no se trata de simples sustancias difusibles.

Es muy natural que, en conexión con la florescencia se haya pensado en las auxinas, cuya actividad aparece en tantos procesos de crecimiento en las plantas. Sin la menor duda, afectan el comportamiento de la floración, pero es muy oscuro todavía su papel en la inducción de la florescencia. Muchos suponen hoy que la auxina, si bien no es por sí misma una hormona de florescencia, debe hallarse presente en una concentración óptima para que pueda verificarse dicha florescencia. Sin embargo, la situación no es muy clara, toda vez que algunas plantas (el ananás, por ejemplo) pueden florecer mediante la aplicación de auxina (ácido α-naftilacético) (Fig. 1), mientras que en otras se estimula en gran

manera la florescencia aplicando sustancias consideradas como antagónicas a la acción auxínica (ejemplo: el ácido 2,3,5-tri-yodobenzoico (A.T.Y.B.) en la habichuela) (Fig. 5). Indicaciones directas tomadas de la titulación de auxinas naturales durante la inducción y desarrollo de la florescencia muestran variaciones notables en las concentraciones de auxina libre, pero todavía no poseemos un cuadro general consistente. Se ha sacado todo el partido posible del efecto que las auxinas sintéticas tienen sobre la florescencia en la industria del ananás, que permite determinar con exactitud la fecha de fructificación mediante aplicaciones de soluciones muy diluídas de ácido α-naftilacético a intervalos cuidadosamente determinados. Esto solventa por completo las dificultades de recolección y venta de la cosecha, que anteriormente planteaba el normal pero fortuito desarrollo del fruto.

Cuando una flor ha adquirido su completo desarrollo y son adecuadas las condiciones se verifica la polinización. Los granos de polen germinan en el receptáculo del órgano femenino (estigma), y los tubitos polínicos penetran dentro de los óvulos donde tiene lugar la fusión nuclear. El polen trae consigo no sólo los núcleos masculinos para la fertilización sino también una cantidad de ácido β-indolilacético que pone en marcha los procesos de desarrollo del fruto joven. De no recibirse el estímulo de esta auxina, se forma entonces una capa de abscisión en la base del pedúnculo de la flor, y se desprende, en consecuencia, la flor no fertilizada. Una vez se ha iniciado el desarrollo del fruto joven y de su semilla, hay una producción continua de auxina que impide la formación de esta capa y mantiene así mismo el desarrollo del tejido del fruto. En algunos frutos, particularmente en las variedades que carecen de semilla, se produce suficiente auxina en el mismo tejido del fruto, pero en la mayoría de las plantas el embrión joven y el endosperma son las fuentes de esta hormona para el desarrollo del fruto. Recientes investigaciones de Luckwill han comprobado la producción de ondas de auxina durante el desarrollo de la manzana [14] y de la zarzamora (*Ribes nigrum*) [15]. Pueden intervenir, por lo menos, tres hormonas. El conocido desprendimiento del fruto pequeño inmaturo (caída de junio) y finalmente el del fruto ya maduro están íntimamente relacionados con bajas concentraciones de auxina.

Las auxinas sintéticas tienen dos aplicaciones muy importantes en el desarrollo del fruto. En condiciones desfavorables a la polinización, pueden rociarse las flores con soluciones diluídas para inducir la formación del fruto y la consiguiente producción de una cosecha completa, que será, desde luego, sin semilla. Esto tiene su más importante aplicación en el cultivo comercial del tomate (Fig. 4). Cabe aplicar asimismo auxinas sintéticas para retardar la abscisión y caída del fruto en vías de maduración, como en el caso de las manzanas, con lo cual se reducen las pérdidas y se pueden planear mejor las operaciones de la recolección.

REFERENCIAS

[1] DUHAMEL DU MONCEAU. «La Physique des Arbres». París. 1758.

[2] KÖGL, F. y HAAGEN SMIT, A. J. *Proc. Acad. Sci. Amst.*, **34**, 1411, 1931.

[3] RAPPAPORT, J. *Bot. Rev.*, **20**, 201, 1954.

[4] EVENARI, M. *Bot. Rev.*, **15**, 153, 1949.

[5] GREGORY, F. G. y PURVIS, O. N. *Nature, Lond.*, **138**, 1013, 1936.

[6] MELCHERS, G. *Ber. dtsch. bot. Ges.*, **57**, 29, 1931.

[7] GORDON, S. A. *Annu. Rev. Pl. Physiol.*, **5**, 341, 1954.

[8] WENT, F. W. *Rec. Trav. bot. néerl.*, **25**, 1, 1928.

[9] BENNET-CLARK, T. A. y BALL, N. G. *J. exp. Bot.*, **2**, 169, 1951.

[10] BRAUNER, L. *Annu. Rev. Pl. Physiol.*, **5**, 163, 1954.

[11] TEMPLEMAN, W. G. Report of the Second British Weed Control Conference, pág. 3, 1954.

[12] VEALE, J. A. Tesis para el Doctorado de Filosofía, Universidad de Londres, Febrero de 1955.

[13] LANG, A. *Annu. Rev. Pl. Physiol.*, **3**, 265, 1952.

[14] LUCKWILL, L. C. *J. hort. Sci.*, **24**, 32, 1948.

[15] WRIGHT, S. T. C. Tesis para el Doctorado de Filosofía, Universidad de Bristol, Octubre de 1954.

BIBLIOGRAFIA

AUDUS, L. J. «Plant Growth Substances». Leonard Hill Limited, Londres. 1953.

LOOMIS, W. E. (Compilador). «Growth and Differentiation in Plants». Iowa State College Press, Ames. 1953.

POHL, R. *Naturwissenschaften*, **17**, 392, 1954.

SKOOG, F. (Compilador). «Plant Growth Substances». University of Wisconsin Press, Wisconsin. 1951.

SÖDING, H. «Die Wuchsstofflehre». Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1952.

THIMANN, K. V. Capítulos II y III de «The Hormones», compilado por G. Pincus y K. V. Thimann. Academic Press Inc., Nueva York. 1952.

Historia del cronómetro marino

SIR HAROLD SPENCER JONES

La construcción de un cronómetro cuya precisión no estuviese afectada por los cambios de temperatura y los movimientos de un barco presentó grandes dificultades. John Harrison en 1759 resolvió por vez primera ese problema y la producción comercial de cronómetros marinos, tal como la conocemos hoy día, fué lograda a principios del siglo pasado por Arnold y Earnshaw.

Durante mucho tiempo no pudo resolverse el problema de determinar la longitud geográfica de un barco en el mar. La diferencia de longitud entre dos lugares es igual a la diferencia entre la hora local de ambos lugares en el mismo instante. La determinación de la hora local en un barco en el mar no presenta ninguna dificultad; por consiguiente, la determinación de su longitud relativa a un meridiano patrón depende del conocimiento de la hora local en ese meridiano. Si puede equiparse el barco con un cronómetro preciso que marque la hora local en el meridiano patrón, el problema queda resuelto.

El uso del reloj para la determinación de longitudes geográficas en el mar fué propuesto por vez primera en 1530 por Gemma Frisius en su *De Principiis Astronomiae et Cosmographiae*. Pero los toscos relojes de su tiempo eran demasiado imprecisos para que el método tuviera valor alguno. En 1660, Huygens intentó construir un cronómetro que funcionase regularmente en el mar. Su reloj marino estaba regulado por un péndulo que batía medios segundos; pero cuando fué probado en el mar resultó totalmente impreciso, ya que el menor movimiento del barco desajustaba el péndulo. Entonces reemplazó el péndulo por un volante y un muelle, pero la falta de compensación de los cambios de temperatura, junto con otros defectos, disminuían en gran medida la precisión del reloj.

El siguiente ensayo de importancia fué el realizado por Henry Sully (1680–1728), antiguo aprendiz de George Graham, famoso relojero inglés. Newton y Wren atrajeron la atención de Sully hacia el problema de la construcción de un reloj marino. Sully construyó varios, uno de los cuales se encuentra en el Museo del Gremio de Relojeros, en el Palacio Municipal de Londres. El péndulo de Huygens quedó reemplazado por una barra oscilante horizontal, unida al volante mediante un cordón de seda que discurría entre dos bastidores cicloidales. El escape, invención suya, tenía algunas ventajas, y por vez primera se utilizaban cojinetes para disminuir el rozamiento en los ejes. Sully proyectó también un reloj marino, montado sobre balancines, que presentaba varias características prometedoras, y que muy bien pudo haber evolucionado hasta convertirse en un satisfactorio cronómetro, pero la muerte prematura del constructor puso fin a los experimentos.

Era ya tan urgente hallar solución al problema de la determinación de longitudes geográficas en el mar, que en 1714 el gobierno británico ofreció un premio de 10 000 libras a quien estableciera un método para determinar la longitud geográfica de un barco con un margen de error de un grado, de 15 000 libras si el margen era de 40 minutos y de 20 000 libras si de 30 minutos. Se estableció una comisión permanente, llamada Comisión de Longitudes Geográficas (*Board of Longitude*), para juzgar los proyectos presentados, la cual tenía facultades para otorgar la mitad del premio cuando una mayoría de sus miembros considerase que el método propuesto era practicable y útil, entregándose la otra mitad cuando una embarcación hubiese navegado hasta un puerto de las Indias Occidentales, sin errar las determinaciones de longitud en más del margen especificado.

Se sometieron a la Comisión muchos proyectos bastante impracticables. Hasta 1764 no quedaron satisfechas plenamente todas las condiciones requeridas para el premio, siendo el cronómetro ganador uno construído por un carpintero y mecánico del Condado de York, John Harrison (1693–1776); sin embargo, debido a las condiciones impuestas por la Comisión, el pago completo del premio no se realizó hasta 1772. En 1728, Harrison trajo consigo a Londres los planos de un reloj marino que había proyectado, con esperanzas de conseguir ayuda económica de la Comisión de Longitudes. Aconsejado por Halley

FIGURA 1 – *John Harrison (grabado por Tassaert, impreso en 1768, tomado de un retrato por King). Su instrumento N° 3 está detrás y el N° 4 sobre la mesa.*

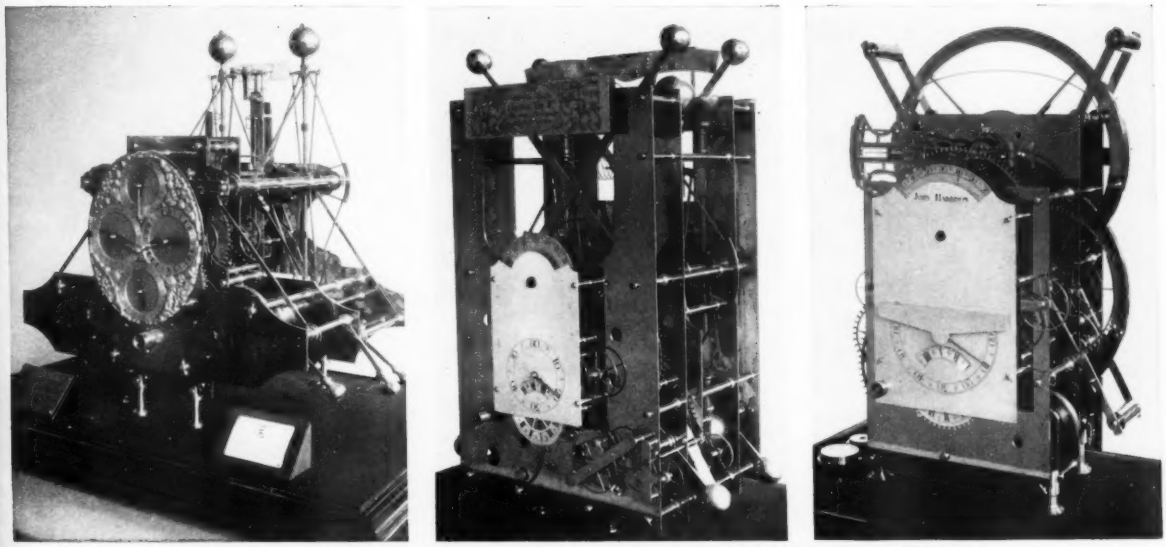
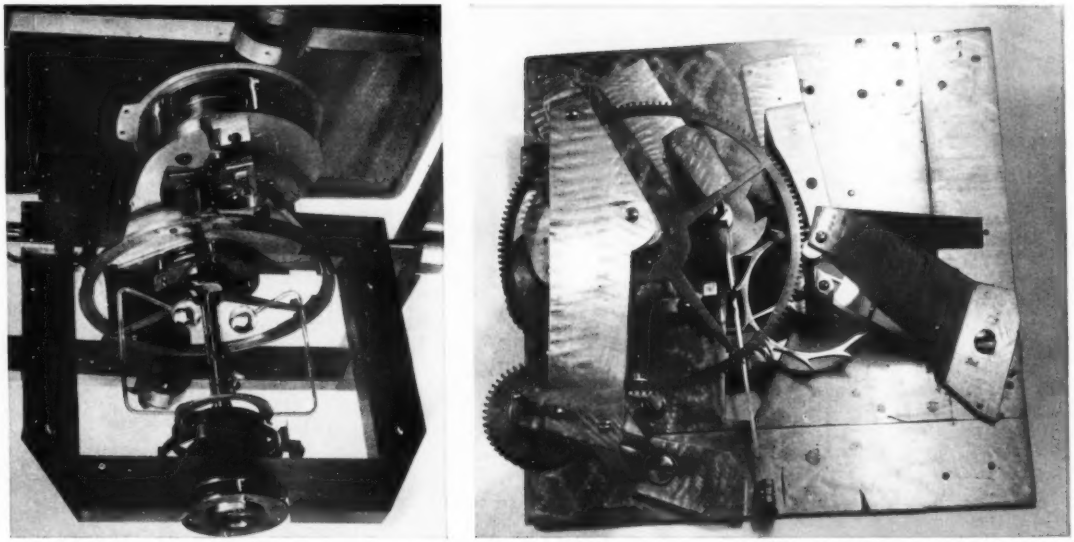


FIGURA 2 – *Relojes N° 1, N° 2 y N° 3 de Harrison* (Copyright *de la Corona Británica*).

FIGURA 3 – *Nº 4 de Harrison. Vista de frente y maquinaria.* (Copyright *de la Corona Británica.*)
Las figuras 2 y 3 son reproducidas de las originales existentes en el Museo Nacional Marítimo, con permiso del Almirantazgo

FIGURA 4 – *Tapas traseras del Nº 4 de Harrison y del Nº 1 de Larcum Kendall.*



(a) (b)

FIGURA 5 – (a) *La* Montre Marine *de Le Roy, mostrando los termómetros adosados al volante.* (b) *El modelo del escape de fiador de muelle, de Earnshaw, construido para la Comisión de Longitudes Geográficas en* 1804.

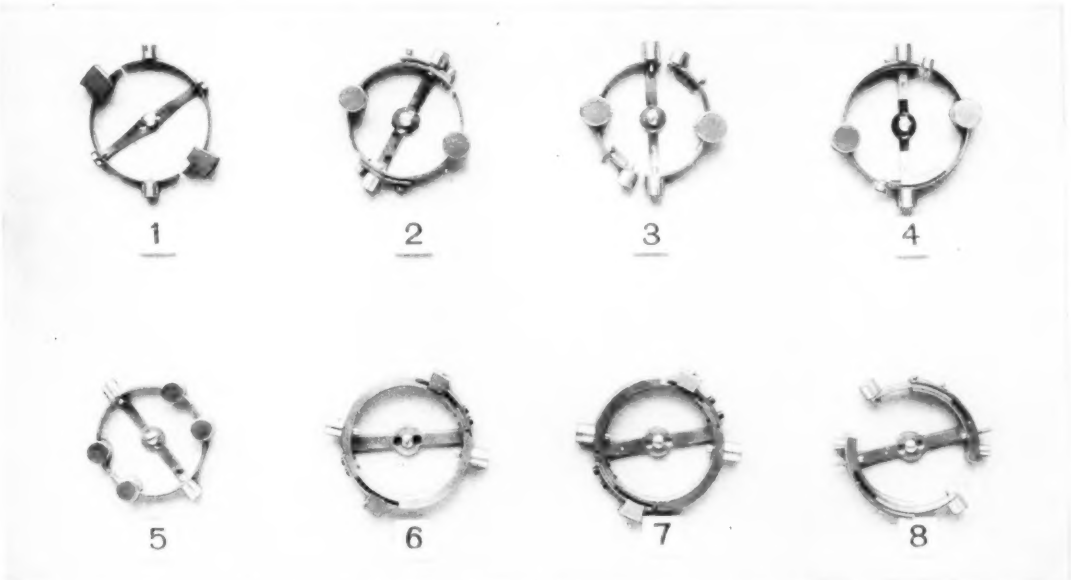
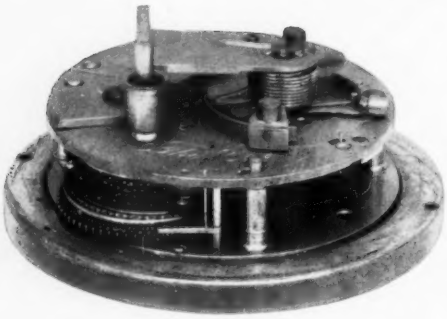
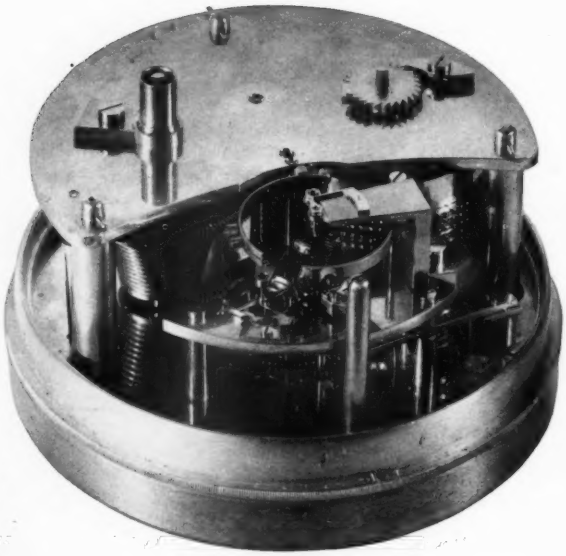


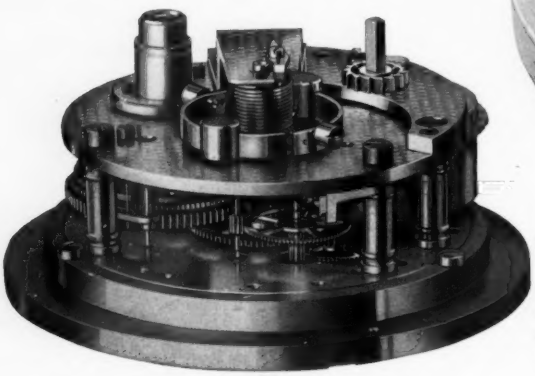
FIGURA 6 – *Tipos de volante de compensación.* 1. *Tipo modificado de Earnshaw, con brazos bimetálicos. Puede modificarse la posición de los tornillos pequeños para variar el grado de compensación.* 2. *Compensación auxiliar de Poole. Al subir la temperatura no se limita el movimiento hacia adentro de los brazos bimetálicos; el movimiento hacia afuera, al bajar la temperatura, está algo limitado por los tornillos pequeños de los brazos cortos.* 3. *Compensación auxiliar de Kullberg. Se colocan dos pequeños brazos bimetálicos adicionales, que pueden moverse hacia adentro al subir la temperatura, pero no pueden moverse hacia afuera al bajar ésta.* 4. *Compensación auxiliar de Mercer. Semejante en principio a la de Kullberg.* 5. *Volante de Guillaume, que tiene cuatro brazos bimetálicos iguales, de latón y acero-níquel especial, cuyo coeficiente de dilatación es mayor a temperaturas bajas que a altas.* 6. *Volante de invar sin cortes con apéndices bimetálicos. Las cortas hojas bimetálicas compensan los pequeños efectos residuales de temperatura.* 7. *Volante de latón sin cortes con apéndices bimetálicos. Semejante al de Guillaume, pero con pesos mayores, pues se requiere una compensación mayor.* 8. *Volante con apéndices bimetálicos. Para uso con muelle de volante de elinvar. Se modifica la compensación desplazando los apéndices bimetálicos hacia dentro o hacia afuera. (De la colección del Museo de Ciencias, South Kensington. Reproducido con permiso de los Srs. Thomas Mercer).*



(a)



(b)



(c)

FIGURA 7 – *Ejemplos de maquinaria de cronómetros.* (a) *T. Earnshaw* (c. 1820). (Copyright *de la Corona Británica. Del cronómetro en el Museo de Ciencias, South Kensington.*) (b) *A. L. Breguet* (c. 1800). (*Por cortesía de los administradores del Museo Marítimo Nacional.*) (c) *Thomas Mercer* (c. 1950).

FIGURA 8 – *Cronómetros antiguos y modernos. De la izquierda a la derecha: N° 4 de Thomas Mudge* (c. 1790); *V. Kullberg* (c. 1916); *R. Pennington* (c. 1796), *y* (*al primer plano*) *Thomas Mercer* (c. 1930), *cronómetro de agrimensor, con contactos.*

enseñó sus planos a Graham, quien dándose cuenta de su valor, le prestó 200 libras, sin garantía ni interés, para que pudiese llevar a cabo la construcción del reloj.

En 1735 Harrison acabó su primer cronómetro marino y lo sometió a pruebas. Era, por muchos conceptos, una máquina notable e ingeniosa. Estaba regulado por dos grandes volantes, unidos por cables que discurrían sobre arcos de latón, de tal forma que sus movimientos eran siempre opuestos, contrarrestándose así los efectos del movimiento del barco. Se hacía uso de cuatro muelles helicoidales, adoptándose una disposición en forma de parrilla tal que, al desplazar ligeramente los extremos interiores de los muelles, se modificaba las tensiones de éstos en la medida necesaria para compensar los cambios de temperatura. El escape era original y prácticamente libre de rozamientos. El instrumento, que pesaba 32,5 kg, estaba montado sobre balancines y fué probado, con resultados alentadores, en un viaje a Lisboa y regreso.

Harrison no presentó este cronómetro a las pruebas completas, sino que procedió a construir otro, que quedó acabado en 1739. En principio era semejante al primero, pero con varias mejoras de detalle. No fué nunca probado en el mar, pues en 1741 Harrison informó a la Comisión que estaba construyendo un tercer reloj, que aventajaría a los dos primeros; no lo acabó hasta 1757. Los dos volantes, de forma circular, estaban unidos por cables y regulados por un único muelle espiral plano. Las correcciones de temperatura se realizaban por medio de un «freno compensador», gracias al cual la longitud efectiva del muelle quedaba determinada por dos tapones, cuya posición estaba regulada por una lámina bimetálica.

Al acabarlo, Harrison informó a la Comisión que se proponía solicitar la realización de las pruebas en el mar cuando hubiese acabado un cronómetro más pequeño, que sería utilizado como reloj de puente. Este cronómetro, completado en 1759, era un reloj de 12,7 cm de diámetro.

Su precisión resultó ser tan grande que Harrison, confiando en sus buenas cualidades, decidió optar con él al premio y no someter su tercer reloj grande a las pruebas. En 1761 fué llevado a Jamaica y regreso en el navío *Deptford*, bajo el cuidado de su hijo William. Sus cualidades excedieron todas las esperanzas: la longitud geográfica de Jamaica se determinó con un error de sólo 1¼ minutos, o sea aproximadamente 2,4 km. Pero aunque se habían satisfecho todas las condiciones requeridas para el premio máximo, la Comisión opinó que tal exactitud podía haber sido pura casualidad. Se organizó otra prueba: el cronómetro, de nuevo bajo el cuidado de William Harrison, fué colocado a bordo del navío *Tartar*, y la longitud geográfica de Jamaica fué determinada esta vez con un error de 9½ minutos. Al regreso a Portsmouth se halló que, en 156 días, el reloj había adelantado únicamente 56 segundos.

Pero la Comisión no estaba todavía satisfecha, alegando que Harrison no había explicado los principios de su construcción. Se pagó la última parte del premio únicamente después que Harrison hubo desarmado el cronómetro delante de un Comité nombrado por la Comisión, lo que permitió que otro relojero hiciese un duplicado del mismo. A este propósito se eligió a Larcum Kendall (1721–95), quien acabó su copia en 1770. Esta fué utilizada por el Capitán Cook, en su segundo y tercer viajes a bordo del navío *Resolution*, quien le dedicó un tributo elogioso.

Los cuatro cronómetros de Harrison y la copia hecha por Kendall del N° 4 son propiedad del Observatorio Real de Greenwich, y se hallan en depósito en el Museo Marítimo Nacional de Greenwich, todavía en perfecto funcionamiento.

El gran mérito de Harrison fué probar que era posible la construcción de un cronómetro capaz de marcar la hora exacta a pesar del balanceo de un barco. Percibió claramente cuáles eran las condiciones esenciales para lograrlo, pero, a causa de las complicaciones de su modelo y de las dificultades de su construcción, ninguno de sus ingeniosos inventos ha sobrevivido en el cronómetro marino actual.

Thomas Mudge (1715–94), el inventor del escape de palanca, utilizado casi universalmente hoy día en los relojes, se interesó en los cronómetros marinos después de examinar el N° 4 de Harrison. Realizó modificaciones en el modelo de éste, pero más bien complicándolo que simplificándolo. La habilidad manual de Mudge era exquisita en su perfección, pero no influyó en el desarrollo ulterior de los cronómetros marinos.

Mientras tanto, en Francia, Pierre Le Roy (1717–85) y Ferdinand Berthoud (1729–1807) atacaban también el problema de la construcción de un cronómetro marino. Le Roy construyó el primer reloj con las dos características esenciales del cronómetro moderno: el volante de compensación y el escape libre, en el cual el volante está libre de interferencias durante casi todo su

recorrido. Los cambios de temperatura se compensaban mediante dos termómetros pequeños adosados al volante, de tal forma que la dilatación o contracción del mercurio alteraba el momento de inercia del volante en la medida necesaria para compensar el cambio en sus dimensiones y en la rigidez del muelle. Le Roy acabó su *montre marine* en 1776; fué probado en el mar en un viaje a Terranova, en el que su exactitud fué aproximadamente igual a la del N° 4 de Harrison.

Berthoud terminó su primer cronómetro marino, que era muy tosco y grande, en 1763. Hombre de extraordinaria habilidad y gran originalidad, ensayó idea tras idea y, efectuando mejoras sucesivas, construyó un cronómetro que, en sus partes esenciales, no difería mucho de los modernos. Inventó muchos escapes diferentes, incluyendo varios del tipo de fiador giratorio o refrenamiento a pivote y uno de fiador de muelle, del que publicó una descripción en 1787. Construyó más de setenta cronómetros marinos.

Mientras la construcción de los cronómetros marinos dependía en su totalidad del trabajo individual de un artífice de gran habilidad, la producción era necesariamente lenta y el coste elevado. En Inglaterra, dos hombres, John Arnold (1736–99) y Thomas Earnshaw (1749–1829), convirtieron la fabricación de cronómetros en una empresa comercial, simplificando los modelos todo lo posible y empleando obreros para los trabajos auxiliares, y, después de instruirlos, también para la construcción de las partes más complicadas y delicadas. Los artífices realizaban únicamente el balance y ajuste final, guardando celosamente sus métodos como un secreto de oficio. Cada uno fabricó más de mil cronómetros, a precios muy inferiores a los de otros relojeros.

Arnold realizó y patentó varias mejoras en la maquinaria. Inventó varios tipos de volante de compensación e introdujo el muelle helicoidal, hoy de uso general. Su primer escape de fiador giratorio era un tanto tosco, pero a partir de él construyó un escape de fiador de muelle muy eficaz que fué utilizado en todos sus cronómetros posteriores.

Debemos a Earnshaw los modelos del volante de compensación y del escape de fiador de muelle tal como los empleamos hoy día. Se ha discutido mucho si debe otorgarse la prioridad en el invento del escape de fiador de muelle a Berthoud, Arnold o Earnshaw. Probablemente trabajaron paralela pero independientemente, si bien cada uno conociendo quizás algo de lo que los otros estaban haciendo. El fiador de muelle fué la evolución

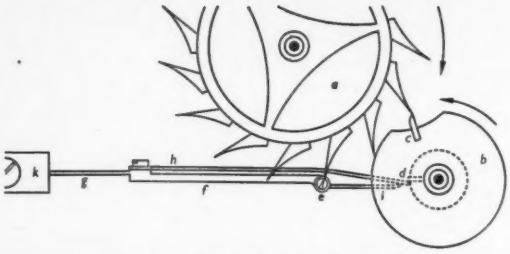


FIGURA 9 – *El escape de fiador de muelle:* (a) *áncora de escape;* (b) *rueda de impulso, adosada a la rueda del volante;* (c) *paleta de impulso;* (d) *paleta de descarga;* (e) *paleta de bloqueo;* (f) *fiador;* (g) *muelle del fiador;* (h) *muelle pasante;* (i) *punta del fiador;* (k) *cojinete del muelle del fiador.*

natural del fiador giratorio: eliminó todas las irregularidades causadas por el espesamiento del aceite en el eje. El de Earnshaw es el de construcción más simple y rendimiento más eficaz. El modelo original de este escape, que fué construído para la Comisión de Longitudes Geográficas, se encuentra en el Observatorio Real de Greenwich (Fig. 5).

En la Fig. 9 puede verse el principio de este ingenioso escape. El fiador, que lleva una paleta para bloquear o detener el áncora de escape, está fijado al muelle fiador, junto con un ligero muelle flexible de oro, el muelle pasante. La rueda de impulso, con las paletas de impulso y descarga, está fijada al volante. En la posición de la figura, la paleta de descarga está a punto de disparar el muelle pasante y dejar libre la paleta de bloqueo, permitiendo al áncora de escape moverse hacia delante. Al hacerlo así, el diente adyacente a la paleta de impulso empuja ésta, manteniéndose así la oscilación del volante. Mientras tanto el muelle fiador ha llevado la paleta de bloqueo a su posición original, preparada para bloquear el próximo diente del áncora de escape. Durante la oscilación de retorno del volante, la paleta de descarga desvía el muelle pasante, que es tan ligero, que su efecto sobre el volante es despreciable. Así pues el volante está casi completamente aislado, o sea libre de interferencias. Una característica importante de este escape es que no requiere engrase.

Earnshaw llevó el cronómetro a su estado moderno en sus rasgos esenciales. Unicamente en cuestiones de detalle ha habido evoluciones posteriores. Es sorprendente que en poco más de medio siglo tuviese lugar la evolución completa desde el reloj de Harrison, que ganó el premio de las 20 000 libras, hasta el desarrollo comercial del cronómetro, tal como lo conocemos hoy día.

Se pueden recopilar brevemente las principales modificaciones efectuadas en los cronómetros desde la época de Earnshaw. Arnold encontró que el isocronismo de un volante provisto de un muelle helicoidal dependía de la forma de la curva terminal del muelle y determinó por tanteo la forma de la curva que daba el mejor isocronismo. En 1861, el matemático francés Phillips investigó las condiciones requeridas para el isocronismo y demostró que es necesario que el centro de gravedad del muelle coincida con el eje del volante. Esta condición se satisface de forma más sencilla con un muelle helicoidal que con un muelle espiral plano, y la forma de la curva terminal utilizada por Arnold la cumple muy bien.

Se han efectuado mejoras en el volante para obtener una mejor compensación de temperatura. Es posible ajustar el modelo de Earnshaw de tal forma que el cronómetro tiene la misma marcha diaria para dos temperaturas fijadas de antemano. Dentro de este margen de temperaturas, el cronómetro adelantará un poco, y fuera de él atrasará ligeramente. Este efecto es conocido por «error de temperatura media»; se ha ejercitado mucho ingenio para evitarlo mediante el uso de compensaciones auxiliares, de las que parece haber tantos modelos diferentes como fabricantes de cronómetros. Las investigaciones de Guillaume sobre las propiedades de las aleaciones de níquel y acero le llevaron al descubrimiento del invar, una aleación con un coeficiente de dilatación despreciable, y del elinvar, una aleación con un coeficiente de elasticidad-temperatura nulo, que han encontrado una aplicación útil en los cronómetros. Ditisheim introdujo en 1920 muelles de volante de elinvar, mientras que Hamilton empleó un volante sin cortes del tipo de invar con un muelle de elinvar. Es esencial un control cuidadoso sobre la uniformidad de las propiedades de estas aleaciones para su uso en manufacturas comerciales, y es mejor prepararlas en cantidades pequeñas en el laboratorio.

La precisión de un cronómetro moderno es tal que se puede conseguir una exactitud de una a dos décimas de segundo al día, dentro de un amplio margen de temperaturas. Para ello es esencial un gran cuidado en la fabricación; se requiere un acabado muy perfecto, especialmente en los ejes; los materiales han de ser seleccionados cuidadosamente; el corte de las ruedas motrices ha de ser muy preciso y deben utilizarse aceites de viscosidad apropiada y con un bajo coeficiente de viscosidad-temperatura.

BIBLIOGRAFIA

GOULD, R. T. «The Marine Chronometer». J. P. Potter, Londres. 1923.

Revista de libros

BIOGRAFIA

American Men of Science (9ª edición), Vol. I (Ciencias Físicas). 2180 págs. The Science Press, Lancaster, Pa.; R. R. Bowker Company, Nueva York. 1955. $20.

La extraordinaria rapidez del crecimiento de la profesión científica en los Estados Unidos resulta evidente del hecho de que la nueva edición de esta obra aparezca en tres volúmenes, en lugar de uno solo, como anteriormente. El número de biografías ha aumentado de 50 000 en 1949 a 90 000. El presente volumen se refiere a las ciencias físicas únicamente y contiene unas 43 000 entradas; los dos volúmenes restantes tratarán de las ciencias biológicas y sociales respectivamente.

Es imposible reseñar de la manera acostumbrada una obra de este tipo; pero tomando como muestra una serie de entradas hemos observado que, como era de esperar en una obra cumulativa de esta clase, no hay omisiones notables y que cada entrada contiene gran cantidad de datos en muy poco espacio.

El sistema de usar en todo caso sólo un signo de puntuación sirve para ganar en brevedad, elemento esencial en tal tipo de obra, pero no siempre en claridad. Sin embargo, ésa es sólo una crítica menor de una valiosísima obra de referencia que sería de desear estimulase la producción de publicaciones semejantes en otros países.

TREVOR I. WILLIAMS

BIOLOGIA

CLOUDSLEY-THOMPSON, J. L. (compilador): *Biology of Deserts* (Actas de un simposio sobre la biología de los desiertos fríos y calientes organizado por el Institute of Biology). 224 págs. Institute of Biology, Londres. 1954. 14s.

Las discusiones organizadas por el *Institute of Biology* sobre la biología de los desiertos han producido como resultado la presente publicación, la cual consiste de unas treinta ponencias y forma un notable grupo de trabajos interesantes, estimuladores y tendientes a la formación de un cuadro general.

El término «desierto» cubre numerosos tipos de ambiente, dadas las diferencias geológicas, edafológicas, climatológicas, botánicas y zoológicas de cada caso. En nuestra opinión, este libro no define el desierto, lo cual nos parece excelente criterio.

La mayoría de los trabajos se ocupan de algún aspecto del gran desierto que se extiende desde el Marruecos

atlántico hasta la India occidental y el Pakistán. Pero también hay investigaciones sobre los desiertos del Africa sudoccidental, los australianos y, en menor número, sobre los americanos. Los desiertos de clima frío, esto es, los de las regiones ártica y sub-ártica, aunque caen dentro del tema estudiado han recibido escasa atención.

Es interesante observar hasta qué punto el investigador de biología aplicada se ocupa del estudio de las regiones desérticas menos severas y lleva a cabo experimentos sobre el terreno. En una de las primeras intervenciones en este simposio se señala que los nómadas representan un tipo humano de gran especialización y que una vez que hayan abandonado sus camellos para dedicarse a la conducción de camiones o a trabajar en los yacimientos petrolíferos será imposible volver a resuscitar la existencia de tipo nómada. Se presenta la interesante sugerencia de que estos pastores nómadas podrían dedicarse a producir carne para otros mercados si mediante un sistema de radar se les pudiese guiar a los lugares donde se hubieran producido recientemente precipitaciones lluviosas, si se pudiera impedir el excesivo pastoreo de las tierras y si se pudieran introducir tipos especiales de pasto. P. A. BUXTON

JACOB, F.: *Les Bactéries Lysogènes et la Notion de Provirus.* VIII + 176 págs. Masson et Cie., París. 1954. Frs. 800.

Esta monografía se ocupa principalmente de los estudios de su autor sobre la lisogenia de *Ps. pyocyanea*, de los cuales quizás los más interesantes sean los que han conducido al conocimiento de los agentes no-replicadores de esa especie, análogos a las colicinas de *E. coli*. Sin embargo, el tema principal es el comportamiento del «profago» y de las diversas maneras en que puede provocarse la inducción, la cual resulta en la liberación de la bacteria del fago libre e infeccioso. No existe un procedimiento de identificación del profago en la bacteria lisógena, ni es detectable serológicamente, de donde Jacob deduce que se halla incorporado a las sustancias genéticas de la bacteria bajo forma de ácido nucleico.

Esto viene a plantear de nuevo la vieja sugerencia de que los profagos son genes «transeúntes». En su nueva forma, esta hipótesis supone que una mutación del genoma bacteriano produce un locus inestable que, bajo un estímulo apropiado, es «inducido» a causar la producción de un enjambre de «partículas víricas», produciéndose como consecuencia la lisis de la bacteria. Una vez creadas de este modo las partículas víricas, quedan sometidas al azar de mutaciones y sobrevivencia y pueden evolucionar hacia la forma parasítica clásica de fago de que es buen ejemplo el T2. Se puede muy bien aceptar la doctrina de Jacob de que las bacterias lisógenas son la principal reserva de fagos que existe en la naturaleza sin tener que aceptar por eso su teoría sobre la filogénesis de los fagos. La completa independencia de carácter inmunológico, y especialmente la presencia en T2, cuando menos, de una base pirimidínica no representada en el ácido desoxirribonucleico bacteriano, parece indicar que será necesario remontarnos muy lejos antes de que podamos hallar un «antepasado común» de *E. coli* y T2, bien fuere un protoorganismo o un genoma bacteriano.

Lo cual, como es natural, no implica que no debamos ahora saludar esta lúcida monografía sobre un tema de gran fascinación que quizás mejor que ninguno otro biológico se preste al empleo de métodos experimentales cuantitativos. F. M. BURNET

KLENSCH, Herbert: *Einführung in die biologische Registriertechnik.* X + 222 págs. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1954. DM. 33.

El autor afirma que en este libro se ha esforzado por presentar una simple introducción de los métodos de registro biológico hoy en uso. La descripción de los métodos más complicados, que son esencialmente instrumentos de investigación, sobrepasa las necesidades del estudiante recién iniciado. Pero, en tanto que guía de investigadores, este libro supone que éstos desconocen la física elemental y no han recibido instrucción práctica en sus cursos universitarios: esperemos que haya pocos de ésos. Es de alabar, sin embargo, la defensa que el autor hace de los métodos sencillos, siempre que sean adecuados, frente a otros más complicados, aunque más modernos. Pero en casi todas las secciones, la elección de los métodos complicados que se describen es tan incompleta que resta mucho valor a la obra. Por ejemplo, la sección que trata de la medida de la velocidad del flujo flúido incluye una descripción del *Thermostromuhr* de Rein, pero no se hace referencia al método electromagnético introducido por Kolin y Wetterer, ni mención alguna del flujómetro de burbuja ni del Rotámetro. Por otra parte, algunas de las informaciones más elementales pudieran haberse condensado, y omitido algunas trivialidades en las observaciones generales de la introducción. Digamos, sin embargo, que en éstas también se encuentran buenos consejos.

La obra será de interés para los lectores británicos y norteamericanos porque describe ciertos métodos no muy comunes y por las referencias a la literatura europea publicada en alemán. Todos, en general, tendemos a no tomar en cuenta los trabajos publicados en una lengua desconocida; por desgracia, el autor de este libro peca del mismo defecto, pues apenas ha incluído algunas referencias a la literatura británica y norteamericana en el total de 421 obras citadas en su bibliografía.

L. E. BAYLISS

LEA, D. E.: *Actions of Radiations on Living Cells* (2ª edición). 416 págs. Cambridge University Press, Londres. 1955. 30s.

Este libro de Lea, que vió la luz en 1946, fué considerado inmediatamente como futura obra clásica de la biología de las radiaciones. Siempre ha sido evidente el gran interés teórico de estos estudios, cuya importancia práctica, tanto para la terapéutica como para la utilización de la energía nuclear, crece continuamente. Como esta obra estaba agotada, la nueva edición ha de ser muy bien recibida.

Lea no intentó estudiar todos los aspectos de los efectos que las radiaciones pueden producir sobre los organismos vivos. Después de realizar estudios físicos, enfocó el tema concentrándose sobre los efectos que parecen con la mayor probabilidad derivarse de ionizaciones únicas, o de un reducido número de ellas, ya que son las más fáciles de tratar con exactitud y pueden conducir a los procesos fundamentales que se hallan en la base de los fenómenos más complejos. Después de un estudio general de la acción de las radiaciones ionizantes sobre las soluciones, el autor trata de efectos biológicos como la inactivación de los virus y la producción de mutaciones en los genes y reordenaciones en los cromosomas. Este tratamiento se basa en la teoría del «blanco» y hace notable uso (especialmente en relación con las mutaciones genéticas) de las investigaciones anteriores de Timofeef-Ressovsky y sus colaboradores. Pruebas más recientes, que indican que la facilidad con que una ionización produce efecto

depende mucho del estado del sistema biológico en el momento de la radiación, señalan la necesidad de poner gran cuidado antes de aceptar tal hipótesis en forma tan simple. Con todo, el enfoque de Lea es una base indispensable sobre la que debe construirse el trabajo posterior. En la nueva edición se ha añadido un apéndice indicando algunas revisiones y adiciones que el autor había hecho en su propio ejemplar de la primera poco antes de su prematuro fallecimiento. Mal podía decirse que este libro está al día: su valor estriba más bien en ser una exposición de principios que no un resumen de los presentes conocimientos.

C. H. WADDINGTON

BIOQUIMICA

KENT, P. W. y WHITEHOUSE, M. W.: *Biochemistry of the Aminosugars*. 311 págs. Academic Press Inc., Nueva York; Butterworths Scientific Publications, Londres. 1955. 40s.

Este libro representa el primer intento de reunir todos nuestros conocimientos de los fenómenos químicos y funciones biológicas de los amino-azúcares desde la publicación de la monografía de Levene en 1925. En este intervalo se han producido notables avances, por lo que resultaba claramente necesario un estudio general del tema.

Una parte del libro describe las propiedades químicas de los amino-azúcares y contiene un estudio directo y crítico de los métodos para su detección, valoración y aislamiento. Los investigadores bioquímicos que trabajan con tales sustancias encontrarán estas páginas de suma utilidad.

Otra parte trata ampliamente de las complejas mucosustancias que contienen amino-azúcares, desde las de los tejidos cartilaginosos y el conducto gastro-intestinal hasta las hormonas gonadotrópicas y los recién descubiertos receptores del virus gripal. La purificación de tales sustancias es muy difícil. Los autores señalan certeramente que escaso número de los productos hasta ahora obtenidos tienen probabilidad de ser especies moleculares únicas y que la relación entre tales productos y los complejos existentes en los organismos vivos es incierta; es posible, por otra parte, que se dé excesiva importancia a las dificultades que el estado de flujo de los sistemas biológicos pueda presentar para el progreso de la química.

Las funciones de las mucosustancias, clasificadas hace ya mucho como soportes, agentes de protección y lubricantes, aparecen estudiadas a la luz de recientes descubrimientos, presentándose adecuadamente la creciente importancia de los estudios enzímicos. Hay muchas zonas obscuras en este terreno en el que una valoración general sólo podría alcanzarse por medio de un libro más extenso. Sin embargo, el presente volumen, que contiene numerosas referencias, es indudablemente una valiosa adición a la literatura bioquímica.

E. P. ABRAHAM

ROBINSON, R.: *The Structural Relations of Natural Products*. XI + 150 págs. Oxford University Press, Londres. 1955. 25s.

Este libro recoge la primera serie de conferencias de la Fundación Weizmann, pronunciadas en Rehovoth en 1953 por Sir Robert Robinson, quien no necesita ser presentado a ningún químico orgánico. Durante los últimos 40 años ha indicado muchas veces cuál pueda ser el proceso de formación de una sustancia orgánica compleja en las plantas y los animales. Los principios de la reactividad química que determinan la elección de un método en el laboratorio no difieren grandemente, según se supone, en el caso de la célula viva, y aunque la célula utiliza enzimas, es más probable que éstas catalicen las reacciones fáciles que las difíciles. Así, si se conocen las sustancias iniciales de que dispone la célula, puede analizarse estructuralmente una molécula compleja e indicarse las posibles rutas de biosíntesis. La posibilidad de decidir entre dos rutas alternativas era hasta hace poco casi inexistente; en la actualidad, el uso de moléculas isotópicamente marcadas y de mutantes genéticamente deficientes asegura nuestro creciente conocimiento de los procesos bioquímicos. En conjunto, la suposición antes citada parece confirmarse: la mayoría de las reacciones de biosíntesis pueden repetirse en un laboratorio.

Para quien se interese en los estudios de biosíntesis, este libro es una mina de ideas. Quizás algunas sean erróneas en sus detalles, pero ninguna puede dejar de ser estimulante. Un ejemplo conocido: el conferenciante sugirió hace 20 años cómo podía producirse la estructura tetra-anular del colesterol mediante el múltiple plegamiento de la molécula linear de escualeno. Dicha sugerencia evidentemente sirvió de estímulo para los experimentos de Bloch que probaron que el escualeno es un precursor del colesterol, aunque la manera precisa de plegamiento no sea la sugerida primeramente.

La primera conferencia trata de diversos tipos químicos, incluyendo los terpenos, esteroides, carbohidratos y flavones. La segunda y tercera conferencias están dedicadas a los alcaloides. El análisis estructural sugiere, con grandes probabilidades de acertar, que la mayoría de los alcaloides se originan en amino-ácidos o en sus precursores inmediatos; en efecto, se ha podido predecir exactamente la estructura de ciertos alcaloides postulando dicho origen. Usando tal clave, el conferenciante guía a sus oyentes a través de un laberinto de las más extrañas estructuras.

El gran número de figuras de fórmulas explica quizás el alto precio de este libro, producido con la característica excelencia de la Clarendon Press.

J. W. CORNFORTH

WOLSTENHOLME, G. E. W. y CAMERON, M. P. (Compiladores): *Chemistry and Biology of Pteridines* (Simposio de la Fundación Ciba). XIV + 425 págs. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1954. 42s.

La Fundación Ciba lleva a cabo la meritoria obra de reunir a los más destacados investigadores de diversas ramas de estudio y publicar los resultados de esas reuniones en forma de libro. En uno de los simposios realizados en 1954 se trató de la química y la biología de las pteridinas, señalándose la interrelación entre el aspecto químico y el biológico en estos estudios, de donde resulta una obra muy estimulante para los investigadores de diversas ramas científicas. La sección química contiene once trabajos que no sólo reseñan investigaciones originales sino que también reúnen gran cantidad de información sobre temas tales como las reacciones de apertura de anillo y los espectros ultravioleta. Además hay otros trabajos dedicados a la constitución de pteridinas naturales. La reseña de las discusiones son buen testimonio tanto del interés despertado por los ponentes como de la habilidad del Presidente, el Profesor Adrien Albert.

Las sesiones biológicas incluyeron varias ponencias sobre los antimetabolitos de las pteridinas naturales y su modo de acción, además de algunos estudios clínicos sobre los desórdenes metabólicos del ácido fólico. Entre las aportaciones que aumentaron el éxito

de este simposio se encuentran los estudios sobre la función del factor citrovorum en la división celular, del Dr. W. Jacobson, quien presidió las sesiones de biología. D. H. MARRIAN

BOTANICA

JAMES, W. O.: *An Introduction to Plant Physiology* (5ª edición). VIII + 303 págs. Oxford University Press, Londres. 1955. 17s. 6d.

Publicada por vez primera en 1931, esta obra ha sido un texto de gran utilidad que ha sabido combinar un enfoque elemental con una plena actualidad. Es justamente famosa por su lúcido estilo, claras ilustraciones y el gran número de experimentos sencillos e informativos que contiene. La nueva edición cuenta 34 páginas y 8 ilustraciones más y presenta grandes modificaciones de redacción y composición. Las propiedades físicas de los coloides y otras materias afines se han reunido ahora en un nuevo capítulo.

El autor combina el estudio de la extensión de ciertos tipos de comportamiento — tan interesante en la biología — con la presentación de los procesos fundamentales. Así, el libro incluye tablas sobre la amplitud de la actividad respiratoria y del cociente respiratorio y una lista de las diversas reacciones de la planta a la luz y la gravedad. También trata de la gradual degradación de los hidratos de carbono y del ciclo de los ácidos orgánicos. El problema está en determinar hasta qué punto conviene tratar dichos temas en una obra elemental, pues si bien servirán de estímulo para el estudiante inteligente, la mayoría tenderá simplemente a aprenderlos de memoria para repetirlos en un examen, desatendiendo otros aspectos de más fácil comprensión. Quizás el estímulo de los estudiantes más inteligentes tenga mayor importancia; de todos modos, éste es un problema que no parece tener fácil solución en la enseñanza de la ciencia.

Mucho nos ha complacido ver que la actual situación del conocimiento en temas tales como los primeros productos de la fotosíntesis, la reacción fototrópica y las hormonas del florecimiento está presentada con sencillez y claridad. De nuevo con esta obra el Dr. James se gana la gratitud tanto de los maestros como de los estudiantes. M. SKENE

WATSON, E. V.: *British Mosses and Liverworts*. XVI + 419 págs. Cambridge University Press, Londres, 1955. 45s.

Esta obra describe una cuarta parte de los musgos británicos y una sexta de las hepáticas, las de ocurrencia más común. Antes, el estudiante tenía que aprender los briófitos en las obras — muy completas — de Dixon y MacVicar, cargadas de una plétora de especies raras; ahora, esta obra le simplifica el trabajo, aunque el estudiante quizás halle útil a veces poder distinguir las especies comunes de las de mayor rareza. Los inconvenientes de un enfoque parcial quedan notablemente contrarrestados mediante la inclusión en las claves de una considerable proporción de las especies menos comunes.

Sólo el uso práctico de este libro en manos de los estudiantes podrá servir de juicio exacto de su valor, pero a nosotros nos parece que se trata de un útil manual que puede servir para que los principiantes se inicien en la identificación de los ejemplares de distintos grupos. Además, las notas ecológicas indican algunos de los problemas fascinantes que plantea la biología de tales plantas.

El texto está ilustrado con unos 200 dibujos a línea y 18 planchas de mediotono muy informativas. Es lástima sin embargo, que el precio del volumen pueda ponerlo fuera del alcance de aquéllos a quienes habría de ser más útil. E. J. SALISBURY

FISICA

TER HAAR, D.: *Elements of Statistical Mechanics*. XIX + 468 págs. Rinehart and Company Inc., Nueva York. 1954. $8,50.

En este libro, el autor lleva a cabo el ambicioso programa de presentar los principales resultados de la mecánica estadística y algunas de sus aplicaciones, haciendo efectivo uso del espacio de que dispone y consiguiendo excelente comprensibilidad gracias a su claro estilo. Quizás hubieran podido suprimirse en algunos puntos los detalles de la manipulación matemática y sustituirse el apéndice matemático por una simple lista de referencias. Sin embargo, en su conjunto, el libro contiene buena cantidad de material y será de gran valor para los estudiantes de investigación como obra de consulta que les lleve a las más recientes aplicaciones.

Se divide en cuatro partes: la primera trata de las partículas independientes; la segunda de la teoría de los conjuntos, incluyendo los conjuntos de la estadística cuántica; la tercera, que es la más extensa e interesante de la obra, trata de las aplicaciones de estos principios y cubre una gran amplitud de temas, incluyendo los fenómenos de compensación, la teoría electrónica de los metales, los semiconductores, los fenómenos de cooperación y la elasticidad de la goma. Hay un capítulo sobre el uso de los métodos estadísticos en la física nuclear y un breve estudio sobre el origen de los elementos químicos. La última parte consiste de una serie de apéndices sobre materias tales como el teorema ergódico, los procesos irreversibles, la tercera ley de la termodinámica y la estadística relativista. Contiene una extensa bibliografía que cubre hasta 1952.

La mecánica estadística es una rama de la física matemática con un amplio campo de aplicaciones que se extiende hasta la astrofísica y la química, así como a los temas arriba mencionados. La presente obra es una valiosa adición a la literatura existente sobre estos estudios. L. S. GODDARD

HELMHOLTZ, H. L. F.: *On the Sensations of Tone* (con una nueva introducción de Henry Margenau). XIX + 576 págs. Dover Publications Inc., Nueva York. 1954. $4,95.

Los investigadores físicos no deben necesitar que se les recomiende la lectura o re-lectura del célebre trabajo de Helmholtz, que hoy ocupa lugar indiscutible entre las grandes obras clásicas de la filosofía natural. La presente edición es una reimpresión de la edición inglesa de 1885, con una nueva introducción, principalmente biográfica, del Profesor Henry Margenau. Además, pocos músicos o simples melómanos puede haber que no deriven notables enseñanzas de su lectura.

Por ejemplo: ¿cuántos partidarios del dodecatonalismo saben que la repulsión que provoca en el público no se debe a una rutina intelectual sino a un prejuicio físico del oído, acostumbrado desde hace siglos a un sistema determinado de tonalidad? ¿Cuántos libretistas — y en especial traductores de libretos — conocen hasta qué punto puede predeterminarse el efecto del cambio del sonido de una vocal sobre la calidad de una nota dada? ¿Cuántos orquestadores comprenden las razones físicas de las distintas calidades de tono de los instrumentos?

Todo músico debiera leer el interesante y provocador último capítulo, junto con la introducción, antes de pasar al resto de la obra, para darse

mejor cuenta del esquema general y límites del tema que se ha establecido Helmholtz. Así hallarán además que una obra que a primera impresión produce en el lector temor por su longitud y complejidad es, en realidad, extremadamente lúcida e inteligible aun para quienes carecen de todo conocimiento de física.

MICHAEL BIRKETT

LONDON, F.: *Superfluids*, Vol. II (Teoría macroscópica del helio superflúido). XVI + 217 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York: Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 64s.

La superconductividad y el extraño comportamiento del helio líquido por debajo del punto λ son temas de gran importancia en la física de las bajas temperaturas. Pocos investigadores han hecho una aportación más valiosa hacia la unificación de nuestros conocimientos de esos dos grupos de fenómenos que el lamentado Profesor Fritz London. El primer volumen de *Superfluids*, que trataba de la superconductividad, apareció en 1950.

La doctrina fundamental sobre la que se basa este concepto unificado de la naturaleza de los superconductores y del helio líquido es que en esos casos la desaparición de la entropía en la región próxima al cero absoluto no está relacionada con un orden posicional de las partículas. Así, los átomos del helio líquido, en vez de hallarse localizados en el espacio, se hallan extendidos sobre una región macroscópica y están ordenados debido a una condensación del tipo Bose-Einstein. El flujo africcional en el helio líquido y las corrientes persistentes de los superconductores son manifestaciones de este proceso de ordenación con relación al momentum, siendo la fructífera hipótesis del doble flúido directa consecuencia de dichas ideas.

El Profesor London ha escrito un libro indispensable y ameno sobre un tema de tan extraordinaria fascinación. Aunque se trata esencialmente de un estudio teórico, también se recogen debidamente los experimentos y sus resultados sin que en ningún momento el formalismo matemático ahogue o sustituya el significado físico. Quizás sea inevitable que en un libro escrito alrededor de un tema central algunos aspectos queden algo descuidados, pero lo importante es que esta obra subraya fuertemente la doctrina — hoy generalmente aceptada — de que el significado de la superfluidez transciende del ámbito de la física de las bajas temperaturas. Parece, en verdad, según indica London en el Vol. I, que los fenómenos de superfluidez son puros mecanismos cuánticos y que «aunque de tamaño macroscópico, no participan sin embargo del desorden de la agitación térmica, esencialmente de la misma manera que no participan las mociones electrónicas intra-atómicas e intramoleculares: en resumen, se trata de *mecanismos cuánticos en una escala macroscópica*».

Aun está por pronunciarse la última palabra sobre el helio líquido y la superconductividad, y la teoría de estos fenómenos todavía puede producirnos notables sorpresas. Pero las aportaciones de Fritz London a nuestros conocimientos sobre la superfluidez son de valor tan permanente que, como dice el Profesor F. Bloch en el Prefacio, toda labor futura quedará permeada por el espíritu de London. N. KURTI

SEMAT, Henry: *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*. 561 págs. Chapman and Hall, Londres. 1954. 50s.

Esta es la tercera edición de esta obra, revisada y aumentada con la adición de la física nuclear. El libro nació de un curso sobre la física moderna y puede ser recomendado sin reservas a profesores y estudiantes. Su contenido está presentado en buen orden lógico, y cuidadosamente dividido en secciones, existiendo siempre un buen equilibrio entre el desarrollo lógico y el histórico en estos estudios. La impresión es buena y las ilustraciones, numerosas y apropiadas; hay, en especial, excelentes diagramas de aparatos y numerosas fotografías. También contiene muchos diagramas explicativos de las cuestiones de carácter más teórico, por ejemplo, la dispersión de las partículas-α por los núcleos y el modelo vectorial del átomo; las fórmulas importantes están encuadradas para que resalten más.

El libro se divide en tres partes: Fundamentos de la física atómica y nuclear, Estructura extranuclear del átomo, y Física nuclear, incluyendo las partículas fundamentales. El libro recoge los conocimientos hasta 1953, sin sacrificar ni su equilibrio ni su desarrollo lógico a temas de actualidad. Sólo hemos observado muy pocas omisiones. Importantes desarrollos recientes, como la detección del neutrino, el positronio, los átomos mésicos y los rayos X, y los nuevos mesones pesados, aparecen todos tratados. Quizás algunas de las referencias a trabajos anteriores sobre los que se fundan los más recientes descubrimientos no sean muy sistemáticas; asimismo, la tabla sobre el «spin» nuclear de la pág. 274 es muy incompleta en comparación con la presentación de otros datos en la obra. Pero estas son críticas mínimas comparadas con la general excelencia del libro. M. H. L. PRYCE

Luminescence, with particular reference to inorganic phosphors. (British Journal of Applied Physics, Suplemento Nº 4.) IV + 120 págs. The Institute of Physics, Londres. 1955. 25s.

En este volumen se recogen 21 trabajos presentados en un simposio celebrado en 1954. Los principales temas tratados son el desarrollo de nuevas sustancias fosforadas, principalmente para la industria de fabricación de lámparas, la electroluminiscencia, y la naturaleza de los centros de luminiscencia. El enfoque de los distintos autores varía desde el empírico hasta el altamente matemático, y sus técnicas desde las simples observaciones del color de la fluorescencia hasta el análisis detallado de las estructuras cristalinas. Las conclusiones también difieren considerablemente, observándose diferencias de opinión sobre la naturaleza de los activadores que producen determinadas bandas, sobre la valencia de los iones activadores y su localización en el cristal, sobre el tamaño de los centros de luminiscencia, sobre el problema de la asociación de centros, y sobre otras cuestiones. A pesar del enorme avance realizado en el desarrollo técnico de los fósforos, su comportamiento e interpretación permanecen aún muy obscuros. No obstante las poderosas técnicas de medición cristalográfica, los cálculos mecánico-ondulatorios intentados y las nuevas doctrinas, como la de compensación de carga y la de transferencia de energía, aplicadas a este estudio, aún quedan por interpretarse ciertos aspectos de estos problemas. E. J. BOWEN

INGENIERIA

MURRAY, Raymond L.: *Introduction to Nuclear Engineering*. XIV + 418 págs. George Allen and Unwin Limited, Londres. 1955. 30s.

En el futuro, los estudiantes de ingeniería tendrán que ocuparse cada día más de los estudios sobre energía nuclear y conocer toda una tecnología nueva y en rápido proceso de desarrollo, así como los principios científicos sobre los que se basa. El libro del Profesor

Murray está destinado a ese tipo de lector, a quien se le suponen los conocimientos de un estudiante universitario en física, matemáticas y química.

Los capítulos introductorios sobre los fundamentos de la física atómica y nuclear son, con justeza, cortos. Estos capítulos iniciales convergen rápidamente hacia el estudio de las propiedades y reacciones de los neutrones, dentro de la escala de velocidades más apropiadas para la producción de energía nuclear, y sobre la escisión nuclear.

El resto del libro posee suficiente amplitud de tratamiento. Hay, como es natural, un estudio detallado de los reactores nucleares y capítulos sobre la separación de isótopos, los peligros de la radiación, sistemas de protección, eliminación de desechos radiactivos, detectores e instrumentos de control, propulsión nuclear y producción de energía eléctrica a base de la energía nuclear.

Los capítulos que tratan específicamente de los reactores nucleares contrastan y describen individualmente los principales tipos empleados, ilustrándolos mediante referencias a detalles de instalaciones existentes. Los materiales de construcción del reactor y los problemas de transferencia de calor y de la circulación de flúidos de refrigeración están también tratados. Hay dos apéndices, uno sobre la teoría de los reactores, y otro que contiene una tabla de datos nucleares.

T. G. PICKAVANCE

MATEMATICAS

BENNETT, C. A. y FRANKLIN, N. L.: *Statistical Analysis in Chemistry and the Chemical Industry*. XVI + 724 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 58s.

En conjunto, éste es un libro lúcido y atrayente, con numerosos ejemplos y referencias frecuentes a la teoría matemática básica. En efecto, las referencias algebraicas nos parecen en ocasiones de una dificultad innecesaria: poca ventaja puede haber en demostrar con detalle resultados que pueden aceptarse perfectamente por analogía con fórmulas fundamentales, cuyas pruebas detalladas se hallan — justamente — incluídas. De este exceso de comprehensividad sufre en particular el capítulo sobre el análisis de variabilidad, el cual contiene además otros dos defectos que son comunes en la mayoría de los libros sobre estadística industrial: todos los promedios cuadrados en el análisis de tablas de variabilidad aparecen expresados en términos de componentes de variabilidad, aun cuando el texto admite que este procedimiento no es exacto; segundo, el peligroso sistema, que puede resultar en una variabilidad parcializada, de agrupar todo efecto no significante con los errores, se recomienda y utiliza a lo largo de la obra. Esta incluye numerosas técnicas de desarrollo reciente, algunas valiosas, otras simples refinamientos triviales: más útil hubiera sido valorar la relativa importancia de métodos alternativos. A pesar de estas críticas, el libro es un excelente estudio de esta materia y merece la atención de todo lector preparado a tolerar una cierta cantidad de datos matemáticos no tanto avanzados como innecesariamente densos.

M. R. SAMPFORD

DE MORGAN, Augustus: *A Budget of Paradoxes* (con una nueva introducción de E. Nagel). 387 págs. Dover Publications Inc., Nueva York. 1954. En tela $4,95.

La reimpresión de esta famosa obra en un solo volumen va enriquecida con una breve introducción del Profesor Ernest Nagel de la Universidad Columbia y contiene sin omisión alguna todo el material de la primera y segunda ediciones. No parece necesario recomendar esta obra a los matemáticos; en ella se tratan las paradojas matemáticas con gran amenidad y sencillez, sin método ni orden en la presentación del contenido si se quiere, pero poniendo bien en relieve los errores de la cuadratura del círculo. Los cultivadores de las paradojas son, por decirlo así, los vivanderos de la ciencia, pero no deben ser olvidados en una historia completa de la matemática. Sus errores, prejuicios e ignorancia, junto con un notable sentido lógico, formarían fácilmente una serie de casos dignos del estudio de psiquiatras y pedagogos. Añadamos, por último, dos observaciones. Primera: la situación envidiable de los profesores de la segunda mitad del siglo XIX que, como en el caso de De Morgan, podían dedicar tiempo y energías a la redacción de trabajos sobre materias al parecer tan triviales. Segunda: que muchos de estos estudios de De Morgan vieron la luz en la revista *The Athenaeum*, de carácter muy serio, conocida de nuestra generación por los hirientes comentarios que de ella hace Morris Finsbury en la novela de Stevenson *The Wrong Box*.

G. TEMPLE

MEDICINA

BARLOW, R. B.: *Introduction to Chemical Pharmacology* (con un Prefacio de H. R. Ing). XIV + 343 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 35s.

En el Departamento de Farmacología de la Universidad de Oxford existe un curso a cargo del Dr. H. R. Ing destinado a los estudiantes de química que piensan dedicarse especialmente a la industria farmacéutica. En dicho curso se estudia la relación entre la estructura y la acción farmacológica y se incluye una clase práctica sobre los métodos de ensayo biológico y enzimológico. El Dr. Barlow, que siguió dicho curso y más tarde ayudó al Dr. Ing durante tres años, es el autor de la presente obra, en la cual se enfocan decididamente los problemas de la relación entre estructura y acción y se muestra una comprensión de los mecanismos de la actividad fisiológica realmente sorprendente en un químico tan joven. Bien escrita y de buena presentación, esta obra estudia primero el tratamiento estadístico de los resultados biológicos, más tarde la teoría de la acción narcótica y la relación entre la estructura y la acción de analgésicos como la morfina, de drogas usadas en el tratamiento de la epilepsia, de estimulantes como la estricnina, anestésicos locales, medicamentos como la acetilcolina y la nicotina, compuestos similares a la atropina y al curare, sustancias inhibidoras de la colinesterasa, compuestos similares a la adrenalina y a la histamina. El tratamiento de estas materias es completo y bien documentado. La obra ha de ser de gran valor para otros lectores además de aquéllos a quienes va destinada.

J. H. BURN

KOPSCH, Fr.: *Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen* (19ª edición). Vol. I, 736 págs.; Vol. II, 768 págs. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1955. DM. 64,50 cada volumen.

El texto de anatomía de Rauber tiene ya una larga historia. La publicación de su 19ª edición no establece un record para los libros de anatomía: en la Gran Bretaña, la *Anatomy* de Gray ha alcanzado su 31ª edición; pero no deja de ser notable que el Dr. Kopsch se haya encargado de la publicación de sus sucesivas ediciones desde hace más

de 50 años. Los atlas alemanes de anatomía siempre han tenido mucho éxito, por ejemplo los de Spalteholz y Sobotta, sin duda debido principalmente a las muy completas y cuidadosas ilustraciones, tan bien reproducidas. Muchas veces uno se pregunta cómo es que los anatomistas alemanes cuentan con los servicios de dibujantes de tan alta calidad; ¿quizás porque los editores alemanes pueden, a base del gran mercado europeo, dedicar buenas sumas a tal fin? Es posible; pero aparte de la alta calidad técnica de las ilustraciones, hay en ellas además una exactitud de detalle y cierta originalidad de presentación que producen la impresión en el lector de la existencia de una colaboración íntima entre el anatomista y el dibujante. Además, los volúmenes de Rauber-Kopsch son algo más que un atlas; a éste se combina en ellos un libro de texto, lo cual es siempre el propósito de los textos de anatomía humana que, sin embargo, nunca llegan a ofrecer ilustraciones tan completas como éstos. Por ejemplo, la *Anatomy* de Cunningham, que incluye más de 1200 ilustraciones, no está impresa en grueso papel *couché* y tiene una presentación menos cuidada. La cuestión que se plantea es la de si es necesario que las ilustraciones alcancen tan extremada calidad como las del libro que revistamos. Una desventaja es inmediatamente evidente: el grueso papel aumenta de manera considerable el peso del libro: la última edición de Cunningham pesa unos dos kilos y medio mientras que los dos volúmenes del Rauber-Kopsch, que entre sí suman 150 páginas menos, pesan casi cinco kilos. Es preciso confesar también que las ilustraciones anatómicas excesivamente realistas pueden ser algo engañosas, pues pueden dar a un lector poco experimentado una impresión de finalidad no justificada. En cierto sentido, toda ilustración anatómica es una representación diagramática y cuanto más cuidada sea la terminación de los detalles tanto mayor peligro hay de que pueda producir la impresión de que es algo más que un diagrama. Por ejemplo, las neurofibrillas no existen realmente en la forma en que aparecen ilustradas en estos volúmenes, ni las retículas terminales de las fibras nerviosas, ni los vasos linfáticos menores. Tales inconvenientes son, como es natural, inherentes a toda ilustración anatómica que se esfuerza por combinar estéticamente exactitud y claridad y presentar así al estudiante los elementos esenciales del tema en forma atrayente y fácilmente asimilable. Desde este punto de vista, las ilustraciones del atlas de Rauber-Kopsch alcanzan la máxima excelencia posible. También el texto es una obra sólida, presentada a la manera tradicional de la anatomía descriptiva. La sección sobre el sistema nervioso central quizás sea la menos satisfactoria pues no incorpora algunas de las más recientes investigaciones sobre las conexiones de las fibras, lo que en este punto hace la obra un poco anticuada, e incluye además diagramas de conexiones que es casi cierto no existen. Como libro de texto para los estudiantes nos parece quizás excesivamente largo y detallado, y, naturalmente, demasiado caro para la mayoría de ellos. Pero como obra de consulta indudablemente, merece un lugar importante en toda biblioteca.

W. LE GROS CLARK

METEOROLOGIA

AUBERT DE LA RUE, E.: *Man and the Winds*. (Traducción al inglés de Madge E. Thompson.) 206 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1955. 18s.

Sólo cuando el servicio meteorológico anuncia una galerna o cuando leemos en la prensa los efectos de un huracán nos parece el viento un tema digno de atención. Este libro nos indica los numerosos, variados e insospechados efectos del viento. Su autor, gran viajero, los ha observado en numerosos países y ahora nos los describe vívidamente: efectos sobre la salud, la construcción de las viviendas, el tipo de agricultura. Muestra al mismo tiempo en detalle las características de la mayoría de los vientos de ciertas regiones: los föhn, chinook, bora y mistral. Hay también capítulos sobre los barcos veleros, el viento en la navegación y la aviación, y el viento como fuente de energía. El libro está bien escrito e ilustrado, contiene valiosas referencias y representa una útil aportación a los estudios climatológicos. La traducción inglesa es excelente, incluye numerosas notas que completan la información del original, y un índice apropiado.

E. W. GOLDING

QUIMICA

LAFFITTE, P. y BRUSSET, H.: *Les Gaz Inertes; l'Hydrogène — Les Halogènes*. 396 págs. Masson et Cie., París. En rústica, Frs. 3600; en pasta, Frs. 4200.

En años recientes la química inorgánica ha pasado de ser una rama puramente descriptiva de la ciencia a ser un estudio en el que encuentran aplicación todos los desarrollos modernos de la física y la química, pues es evidente que el estudio de un elemento o compuesto químico es sólo completo cuando se han considerado sus propiedades espectroscópicas, estructurales, termodinámicas y nucleares. Como hoy el ámbito de la química inorgánica abraza 101 elementos, un estudio de todo el tema supone una tarea formidable. Los autores del presente volumen han seleccionado casualmente los elementos bajo estudio: los gases inertes, el hidrógeno y los halógenos, incluyendo en el tratamiento de dichas sustancias suficientes elementos de la nueva y de la vieja química para hacer resaltar las características más importantes. Tampoco han dudado en incluir aspectos que normalmente se consideran más apropiados de la química orgánica y de la aplicada.

El capítulo que trata de los gases inertes es breve e incluye secciones sobre las reacciones nucleares en que intervienen partículas-α, la extracción de los gases inertes de las fuentes naturales, los espectros de los gases, y los variados usos de éstos. El segundo capítulo trata del estudio químico y físico del hidrógeno, asignándose secciones a la estructura y espectrografía del átomo y de la molécula de hidrógeno. Una sección importante trata de los hidruros de los metales y la hidrogenación de diversos compuestos orgánicos, terminando el capítulo con un estudio del deuterio y sus compuestos y del tritio. El capítulo final trata de los halógenos y contiene un breve estudio del elemento 85, que forma el quinto halógeno. Los importantes progresos sobre la química del flúor y en la de los compuestos inter-halogénicos reciben suficiente mención. Este libro, aunque de fácil lectura y buena presentación, no puede decirse que venga a llenar una laguna en esta materia, pues recientemente se han publicado obras excelentes sobre estos temas. Con todo, nos parece un trabajo de utilidad para las bibliotecas científicas.

W. WARDLAW

STEACIE, E. W. R.: *Atomic and Free Radical Reactions*, Vols. I–II (2ª edición). x + 901 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York: Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. £11 4s.

Los extensos estudios realizados durante los diez años últimos sobre las transformaciones químicas indican que numerosas reacciones aparentemente

complejas se producen mediante una serie de pequeños pasos en los que actúan como intermediarios los átomos y radicales. La presente tendencia de la cinética química señala hacia la obtención de datos cuantitativos sobre la velocidad y energías de activación de esos procesos elementales. La 2ª edición de la conocida monografía del Dr. Steacie, puesta al día, será de gran servicio a todos los interesados en el mecanismo del cambio químico. El desarrollo de esta materia y la gran cantidad de datos recogidos desde la publicación de la 1ª edición en 1946, han exigido la completa revisión del texto, que ahora ocupa casi el doble de espacio del original. Esta obra contiene un resumen completo de las velocidades de todas las reacciones atómicas y de radicales libres referentes a sustancias orgánicas, descritas hasta junio de 1953, y todos los trabajos incluídos en las principales revistas hasta septiembre de 1953. Un breve capítulo introductorio sobre la cinética química va seguido de un estudio general sobre los métodos experimentales, la determinación de las energías de disociación de enlaces, y la función de los átomos y radicales en las reacciones térmicas y fotoquímicas. El segundo volumen contiene una revisión sistemática de los datos referentes a la velocidad de las reacciones elementales individuales para los sistemas que contienen carbono e hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro y flúor, bromo, yodo, sodio, otros metales, y azufre. Hay una bibliografía con 2086 referencias y un índice de reacciones. La cantidad de datos incluídos es inmensa; la exposición de cada aspecto de la materia, clara y crítica. Este libro continuará siendo una obra clásica de referencia, aunque, desgraciadamente, su alto precio hará imposible su adquisición para muchos que debieran poseerla. C. E. H. BAWN

STEWART, J. R. y SPICER, F. E.: *Stewart's Scientific Dictionary* (4ª edición). 788 págs. Stewart Research Laboratory, Alexandria, Va.; I. R. Maxwell and Company Limited, Londres. 1953. 63s. 6d.

Este diccionario de términos usados en la industria química, publicado en 1940, alcanza ahora su cuarta edición. Si bien esta sucesión de ediciones parece indicar que esta obra satisface una necesidad, también es cierto que, en el momento actual, se halla en una fase de su evolución no muy satisfactoria. Ahora es más que un simple diccionario, pero no ha llegado a ser la enciclopedia que, evidentemente, se propone ser. Se observan grandes diferencias entre los distintos artículos en su longitud, calidad y relevancia: así, no aparecen incluídos entre los elementos ni el germanio, ni el uranio, ni el titanio, por mencionar sólamente aquellos metales que actualmente tienen usos importantes y bien conocidos. En cambio, los pigmentos de óxido de titanio ocupan dos páginas, y esta preocupación con los productos relacionados con las pinturas es evidente en otros muchos lugares. Los artículos se refieren principalmente a las prácticas industriales norteamericanas y, en consecuencia, se omiten términos comerciales e industriales usados en Gran Bretaña y en otros países angloparlantes: ejemplos son «Terylene» y «Paludrine». Aunque su título es inexacto, esta obra contiene, sin embargo, útiles datos sobre la práctica química norteamericana.

TREVOR I. WILLIAMS

ZOOLOGIA

GRASSÉ, Pierre-P. (Compilador): *Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie.* Vol. XII, *Vertébrés.* 1145 págs. Masson et Cie, París. 1954. En rústica, Frs. 9800; en pasta, Frs. 10 550.

En cierto sentido, este volumen del gran *Traité de Zoologie* es el más importante de la serie hasta ahora aparecida, ya que trata de problemas generales de morfología y embriología de los vertebrados. En él parecen incluídos los aspectos principales de la morfogénesis, gastrulación, segmentación de la cabeza, arquitectura de los sistemas nerviosos central y periférico, órganos sensoriales conjugados, estructura craneana, esqueleto axial y apendicular, dentición, y sistemas vascular y genito-urinario. También hay capítulos sobre los cromosomas de los vertebrados y sobre ciertos caracteres bioquímicos (esteroles, fosfágenos, sales biliares, hemoglobina, porcentajes de diversos cationes) de numerosos grupos de animales.

En libros extensos y comprehensivos de este tipo siempre existe el peligro de que el natural deseo de realizar una síntesis general lleve a la omisión de algunos resultados, al parecer contradictorios con la doctrina que se sostiene, de análisis detallados y objetivos obtenidos de la observación y experimentación con el material diversificado. En esta obra, ese peligro ha sido radicalmente vencido mediante la cuidadosa selección de los colaboradores del Profesor Grassé, Director de la edición, y las directrices que han guiado sus trabajos.

Las diversas secciones están redactadas con concisión, contienen los conocimientos más recientes y conservan una actitud crítica frente a las cuestiones controvertidas como, por ejemplo, los coeficientes de cefalización o el carácter de los *trabeculae cranii.* La obra está magníficamente impresa y lujosamente ilustrada, y es un digno ejemplo de las más altas tradiciones de la zoología francesa. GAVIN DE BEER

Libros recibidos

(*Nota.* La mención de un libro en esta sección no excluye su futura revista.)

ASTRONOMIA

PAWSEY, J. W. y BRACEWELL, R. N.: *Radio Astronomy.* x + 361 págs. Clarendon Press, Oxford. 1955. 55s.

Principes fondamentaux de classification stellaire. 190 págs. Centre National de la Recherche Scientifique, París. 1955. Frs. 1200.

BOTANICA

GUILLAUMIN, A., MOREAU, F. y MOREAU, C.: *La Vie des Plantes.* 464 págs. Librairie Larousse, París. 1954. Frs. 5190.

GUINOCHET, M.: *Logique et dynamique du peuplement végétal.* 144 págs. Masson et Cie., París. 1955. Frs. 880.

MERRILL, E. D.: *The Botany of Cook's Voyages.* Vol. XIV. Nos. 5–6. IV + 161–384 págs. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass.; William Dawson and Sons Limited, Londres. 1954. $4,75.

CIENCIA GENERAL

Better Ways. Nineteen paths to higher

productivity. IX + 97 págs. British Productivity Council, Londres. 1955. 2s. 6d.

BONNER, J. T.: *Cells and Societies*. 234 págs. Princeton University Press, Princeton, New Jersey; Geoffrey Cumberlege, Londres. 1955. 25s.

CROWTHER, J. G.: *Discoveries and Inventions of the Twentieth Century*. XVII + 432 págs. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1955. 30s.

JOHNSON, W. H.: *If You Must Write——*. VI + 98 págs. Hutchinson, Londres. 1955. 4s.

TATON, R.: *Causalités et accidents de la découverte scientifique*. 172 págs. Masson et Cie, París. 1955. Frs. 980.

WISE, J. K.: *Patent Law in the Research Laboratory*. 145 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 24s.

CIENCIAS BIOLOGICAS

COLE, W. A. (Compilador): *Some Physiological Aspects and Consequences of Parasitism*. XI + 90 págs. Rutgers University Press, New Jersey. 1955. $2.

HADORN, E.: *Letalfaktoren*. 338 págs. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1955. DM. 39.

MORAND, P.: *Aux Confins de la Vie. Perspectives sur la Biologie des Virus*. 171 págs. Masson et Cie., París. 1955. Frs. 850.

NEILANDS, J. B. y STUMPF, P. K.: *Outlines of Enzyme Chemistry*. X + 315 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 52s.

ROSTAND, J.: *Life, the Great Adventure*. 258 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1955. 12s. 6d.

THIMANN, K. V.: *The Life of Bacteria*. XVIII + 775 págs. The Macmillan Company, Nueva York. 1955. $12,50.

FILOSOFIA

FRIEDBURG, F.: *Thoughts About Life*. 40 págs. Philosophical Library, Nueva York. 1954. $2,50.

FISICA

BECKERLEY, J. G. (Compilador): *Annual Review of Nuclear Science*. Vol IV. IX + 483 págs. Annual Reviews Inc., Stanford, California. 1954. $7.

DE BROGLIE, Louis: *Physics and Microphysics*. 286 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1955. 21s.

JAY, K. E. B.: *Atomic Energy Research at Harwell*. XII + 144 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1955. 5s.

PEIERLS, R. E.: *The Laws of Nature*. 284 págs. George Allen and Unwin Limited, Londres. 1955. 21s.

PEIERLS, R. E.: *Quantum Theory of Solids*. VIII + 226 págs. Clarendon Press, Oxford. 1955. 30s.

SYKES, J. H. M.: *A Guide Book to Electricity*. 275 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres, 1955. 21s.

THIRRING, W.: *Einführung in die Quantenelektrodynamik*. XII + 122 págs. Franz Deuticke, Viena. 1955. DM. 17,50.

GEOLOGIA

BASSE DE MÉNORVAL, E.: *Les Fossiles*. 124 págs. Presses Universitaires de France, París. 1955. Frs. 153.

FAUL, H. (Compilador): *Nuclear Geology (A Symposium on Nuclear Phenomena in the Earth Sciences)*. XI + 414 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 56s.

INGENIERIA

BILLIG, Kurt: *Precast Concrete*. XVI + 341 págs. Macmillan and Company Limited, Londres. 1955. 32s.

MATEMATICAS

COLERUS, Egmont: *From Simple Numbers to the Calculus*. XI + 255 págs. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 25s.

MEDICINA

GEIGY, R. y HERBIG, A.: *Erreger und Überträger tropischer Krankheiten*. XXIV + 472 págs. Verlag für Recht und Gesellschaft AG., Basilea. 1955. 80 Frs. suizos.

POLICARD, A.: *Le Poumon*. 264 págs. Masson et Cie., París. 1955. Frs. 1500.

RUSS, S.: *Smoking and its Effects*. 144 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1955. 8s. 6d.

METALURGIA

DAWIHL, W.: *A Handbook of Hard Metals*. VIII + 162 págs. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1955. 25s.

QUIMICA

BEAR, F. E. (Compilador): *Chemistry of the Soil*. X + 373 págs. Reinhold Publishing Corporation, Londres. 1955. 70s.

BELCHER, R. y WILSON, C. L.: *New Methods in Analytical Chemistry*. XII + 286 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

HAIS, I. M. y MACEK, K.: *Papírová Chromatografie*. 724 págs. Nakladatelství Československé Akademie Věd, Praga. 1954. Kčs. 142.

HORNING, E. C. (Compilador): *Organic Syntheses. Collective Volume* III. X + 890 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 120s.

JOHNSON, W. C. (Compilador): *Organic Reagents for Metals*. Vol. I (5ª edición). VIII + 199 págs. Hopkin and Williams Limited, Chadwell Heath, Essex, Inglaterra. 1955. 15s.

MCDONALD, H. J.: *Ionography*. X + 268 págs. The Year Book Publishers Inc., Chicago. 1955. 48s.

STROUTS, C. R. N., GILFILLAN, J. H. y WILSON, H. N. (Compiladores): *Analytical Chemistry. The Working Tools*. Vols. I–II. XXI + 494 y IX + 496–1067 págs. Clarendon Press, Oxford. 1955. £5 5s. cada volumen.

WINSOR, P. A.: *Solvent Properties of Amphiphilic Compounds*. IX + 207 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1954. 40s.

ZOOLOGIA

BUXTON, P. A.: *The Natural History of Tsetse Flies*. XX + 816 págs. H. K. Lewis and Company Limited, Londres. 1955. 84s.

FERNALD, H. T. y SHEPARD, H. H.: *Applied Entomology* (5ª edición). IX + 385 págs. McGraw-Hill Book Company Inc., Nueva York. 1955. $7.

MATTHEWS, G. V. T.: *Bird Navigation*. VI + 141 págs. Cambridge University Press, Londres. 1955. 12s. 6d.

OSMAN HILL, W. C. (Compilador): *Primates*. Parte 1: *Strepsirhini*, XXIII + 798 págs. 1953. Parte 2: *Haplorhini*, XX + 347 págs. 1955. University Press, Edimburgo. 105s. y 63s. respectivamente.

SHEEHY, E. J.: *Animal Nutrition*. VIII + 732 págs. St. Martin's Press, Nueva York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1955. 30s.

Notas sobre los colaboradores

C. P. WHITTINGHAM

Nació en Londres en 1922 y estudió en el *St. John's College* de Cambridge. Después de graduarse en esta Universidad, pasó a la de Illinois, donde trabajó un año; en 1954 fué Catedrático Visitante en la Universidad de Minnesota. Sus investigaciones en Cambridge tuvieron como tema la fisiología de la fotosíntesis.

ANN WYLIE

Nació en Wellington, Nueva Zelandia, en 1922 y estudió en la Universidad de Otago. Llegó a Inglaterra en 1947, donde trabajó en la *John Innes Horticultural Institution* sobre la citología e histología de asfodelos y rosas. En 1952 ingresó en el Departamento de Botánica de la Universidad de Manchester, donde es en la actualidad miembro del profesorado.

R. SNOW

Nació en 1897 y estudió en el *New College* de Oxford. Sus investigaciones botánicas se han desarrollado principalmente sobre las reacciones de las plantas a diversos estímulos, la correlación entre sus diversas regiones de crecimiento, y la determinación y localización de las hojas. En esta última dirección ha colaborado principalmente con su esposa.

J. N. ALDINGTON

Nació en 1905 y estudió en el *Harris Institute* de Preston y en el *Technical College* de Blackburn. Pertenece a la firma *Siemens Electric Lamps and Supplies Limited* desde 1923 y es hoy Director Gerente de la misma y de *Alfred Graham and Company Limited*. Autor de diversos trabajos y artículos que tratan especialmente del progreso de las lámparas eléctricas de descarga. Ganador del Premio «Crompton» de la *Institution of Electrical Engineers*.

H. W. CUMMING

Nació en Preston en 1921 y estudió en el *Harris Technical College*. Desde 1940 ha realizado investigaciones en los laboratorios de *Siemens Electric Lamps and Supplies Limited*, especialmente sobre descargas eléctricas en gases y vapores.

L. J. AUDUS

Nació en 1911 y estudió en la Universidad de Cambridge. De 1935 a 1939 perteneció al Departamento de Botánica del *University College* de Cardiff. Después de la guerra pasó a formar parte de la Unidad de Metabolismo del Suelo del *Agricultural Research Council* para investigar los problemas relacionados con los productos destructores de plantas dañinas. De ahí pasó a interesarse en estudiar la microbiología de los suelos y las hormonas del crecimiento vegetal, temas de sus presentes investigaciones. En 1948 fué nombrado Catedrático de Botánica de la Universidad de Londres. Autor de *Plant Growth Substances* (1953) y de artículos sobre la investigación de la respiración vegetal y de las hormonas del crecimiento vegetal, especialmente en relación con las raíces.

SIR HAROLD SPENCER JONES

Ocupa el cargo de Astrónomo Real desde 1933. Nació en Londres en 1890 y estudió en el *Jesus College* de Cambridge. Desde 1923 a 1933 ocupó el cargo de Astrónomo Real en el Cabo de Buena Esperanza. En 1943 le fué concedido el título de Sir. Ganador de la «Royal Medal» de la *Royal Society*, la «Gold Medal» de la *Royal Astronomical Society*, la Medalla «Janssen» de la Sociedad Francesa de Astronomía, la «Bruce Gold Medal» de la *Astronomical Society of the Pacific*, y la «Gold Medal» del *British Horological Institute*. Expresidente de la *Royal Astronomical Society*, de la *British Astronomical Association*, del *Institute of Navigation* y de la Unión Internacional de Astronomía. Presidente del *British Horological Institute*. Miembro correspondiente de numerosas academias nacionales y miembro honorario de numerosas sociedades astronómicas.